



Rapport de stage  
Master professionnel, 2<sup>ème</sup> année  
Mention : Gestion des Habitats et des Bassins Versants



# **INTERACTIONS ENTRE LES MOUCHES DES CUCURBITACEAE (DIPTERA, TEPHRITIDAE) ET LES PLANTES-PIEGES INCORPOREES DANS LES AGRO-ECOSYSTEMES HORTICOLES REUNIONNAIS**



Par **Aubéri PETITE.**

De Février à Juillet 2009, soutenu le 10/09/2009.

Direction du stage : **Jean-Philippe DEGUINE\***, entomologiste-agroécologue

\*UMR 53 PVBMT (CIRAD)

Station de Ligne Paradis, 7 chemin de l'IRAT 97410 SAINT PIERRE

☎ : 02 62 49 92 31 ; ✉ : [jean-philippe.deguine@cirad.fr](mailto:jean-philippe.deguine@cirad.fr)

Correspondant universitaire : **Sébastien DUGRAVOT\*\***, maître de conférences

\*\*Université de Rennes 1- UFR Sciences de la Vie et de l'Environnement (SVE)  
EA 3193, 263 Av. du Général Leclerc, CS 74205, 35042 RENNES CEDEX

☎ : 02 23 23 58 67 ; ✉ : [sebastien.dugravot@univ-rennes1.fr](mailto:sebastien.dugravot@univ-rennes1.fr)

Photographie : T. FRANCOIS (CIRAD)

## REMERCIEMENTS

**A Anabel**, qui a fait germer dans mon esprit la possibilité d'aller à La Réunion travailler sur le sujet des mouches des fruits. Sans elle, je me serais sans doute consacrée au bocage breton (magnifique cela dit).

**A Jean-Philippe Deguine**, maître de stage curieux et enthousiaste qui m'a fait découvrir l'agro-écologie avec passion. L'encadrement était nickel et je le remercie également pour son soutien rassurant dans les périodes difficiles. J'espère que notre collaboration va survivre malgré les océans qui nous séparent !

**Aux habitants de la case du haut, Antoine et Thomas**, malgré les quelques différents concernant l'omelette, la vinaigrette, le vin rouge, le ménage, l'achat de viande de Babylone, l'utilisation de l'huile d'olive,...

**A Babeth**, pour m'avoir fait rire même en perdant les clés du véhicule de service dans le champ de patates douces.

**A Cédric et Moutou**, pour leur aide et leur compagnie lors des longues heures d'échantillonnages.

**A Cathy**, pour les blagues de m., les sourires et la correction du rapport.

**A Toulassi**, pour ses études de l'année passée qui ont facilité la recherche bibliographique de cette année. Merci aussi pour l'invitation à ce beau mariage, je n'avais jamais vu ça de ma vie !

**A Fred et Sylvaine**, pour le temps passé à eRRer ensemble devant mes résultats...

**A Jim** pour sa bonne humeur et à **Serge G.** pour avoir retrouvé des clés de véhicule de service dans un champ de patates douces.

**A tout les habitants de l'open space du CIRAD**, Marie, Stéphan, Christopher, Romuald, Lise, Thomas D, (...et j'en oublie) qui ont permis que la phase « bureau » de ce stage ne soit pas ennuyeuse.

**A Antoine F.** pour ses photos qui vont émerveiller le grand ouest breton.

**A Serge Q.** qui m'a dégoté un VCAT en Guyane.

**A Françoise Rozé**, professeure qui m'a accompagnée durant tout mon parcours universitaire et que je peux remercier aujourd'hui d'avoir su entretenir mon intérêt pour l'écologie durant ces cinq années.

**A Sébastien Dugravot**, pour avoir rapidement accepté d'endosser la lourde tâche de correspondant universitaire.

## **PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL :**

**Le Centre de coopération Internationale en Recherche  
Agronomique pour le Développement (C.I.R.A.D),  
U.M.R. Peuplements Végétaux et Bio-agresseurs en Milieu  
Tropical (P.V.B.M.T.), à Saint-Pierre, île de La Réunion.**

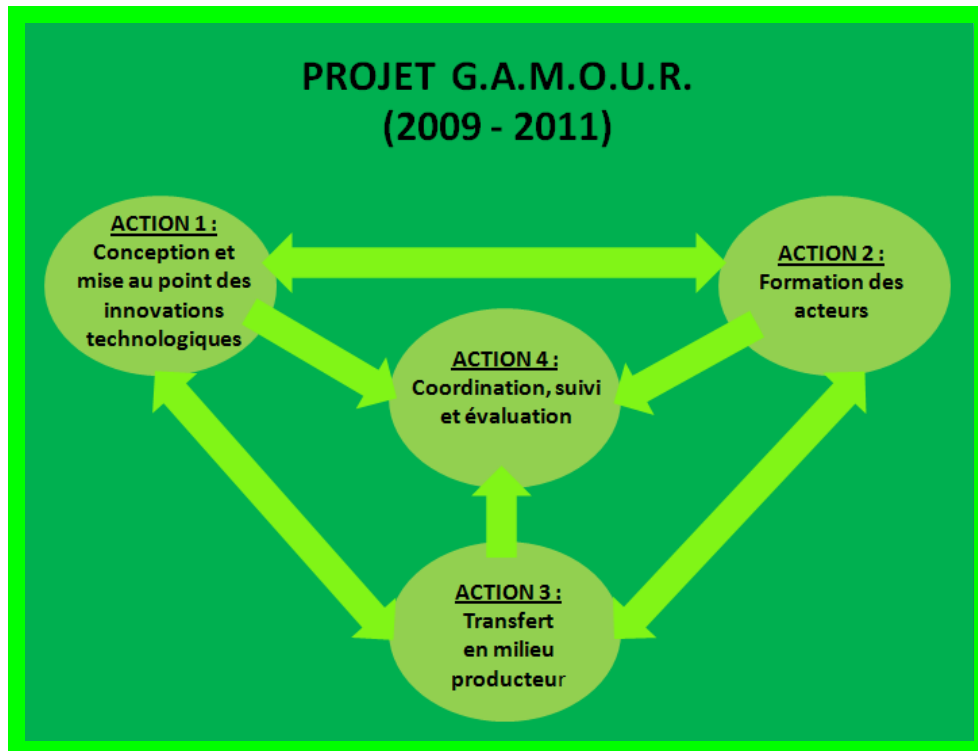
En 1984, neuf instituts de recherche dédiés à l'agronomie tropicale se sont regroupés en un établissement public à caractère industriel et commercial, le C.I.R.A.D. Présent dans 90 pays avec 1800 agents, il participe, par des actions de recherche, de formation et d'échanges d'informations, à l'émergence d'une agriculture suffisamment productive pour nourrir l'ensemble de la planète mais également respectueuse de la santé humaine et de l'environnement.

L'U.M.R. P.V.B.M.T. située à Saint-Pierre et dirigée par Bernard Reynaud et Dominique Strasberg, regroupe du personnel du C.I.R.A.D. et de l'Université de La Réunion. Elle se consacre aux bio-agresseurs des plantes aussi bien à l'échelle génomique qu'à celles de l'espèce et de l'écosystème. L'objectif est de prévenir l'émergence de nouvelles pathologies végétales et d'élaborer des moyens de lutte viables écologiquement et économiquement.

Une des ses équipes, nommée « Dynamiques écologiques et interactions au sein des agrosystèmes » dirigée par Serge Quilici, travaille exclusivement sur l'entomofaune et notamment sur les mouches des fruits qui causent d'importants dégâts dans les systèmes horticoles réunionnais.

Le projet G.A.M.O.U.R (Gestion Agro-écologique des Mouches des légumes à La Réunion, cf. figure ci-dessous) s'inspire d'un programme de recherche et développement conduit à grandes échelles à Hawaï et de recherches engagées sur ce thème à La Réunion, au sein de l'U.M.R. P.V.B.M.T. Ce projet, mené par Jean-Philippe Deguine, fait intervenir de nombreux organismes tels que la chambre d'agriculture et la F.D.G.D.O.N. (Fédération Départementale pour la Gestion des Organismes Nuisibles). L'objectif est de concevoir et de mettre en place, dans plusieurs sites, une méthode de gestion des populations de mouches des légumes, basée sur la restauration des équilibres écologiques dans les agro-écosystèmes, sans avoir recours aux insecticides chimiques. Ceci nécessite de mieux connaître l'écologie des espèces de

mouches qui posent actuellement problème, puis d'expérimenter de nouvelles méthodes de gestion (Action n°1 du projet G.A.M.O.U.R). C'est dans ce contexte que se situe le stage présenté ici et intitulé « Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae) et les plantes-pièges incorporées dans les agro-écosystèmes horticoles réunionnais ».



Ce stage va permettre d'étudier l'influence des plantes-pièges disposées en bordure des agro-écosystèmes sur la bio-écologie des mouches ravageant les cultures de Cucurbitacées. Par la suite, ces résultats serviront de base pour réfléchir à l'introduction de biodiversité végétale dans les systèmes horticoles et pour élaborer les innovations technologiques dans le cadre de l'action n°1 du projet G.A.M.O.U.R.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>I) MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>2</b>
A) Matériel biologique : caractéristiques des espèces étudiées.....	3
B) Sites d'étude.....	4
C) Protocoles expérimentaux.....	5
D) Analyse des données .....	7
<b>II) RESULTATS.....</b>	<b>9</b>
A) Caractéristiques du peuplement de mouches des Cucurbitaceae au sein d'un agro-écosystème.....	9
B) Etude de l'évolution journalière des effectifs sur bordure et culture.....	16
C) Rythme journalier des activités .....	20
<b>III) DISCUSSION.....</b>	<b>24</b>
A) Bio-écologie des mouches des Cucurbitaceae au sein d'un agro-écosystème { culture de Cucurbitaceae + plantes-pièges } .....	24
B) Aspects méthodologiques, portée et limites des résultats .....	27
C) Perspectives de gestion et de recherche.....	29
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>34</b>
<b>TABLES DES ANNEXES.....</b>	<b>51</b>



## INTRODUCTION

La production de fruits et légumes est l'une des trois plus importantes sources de revenu de l'agriculture réunionnaise avec celles de la canne et de l'élevage. Elle se distingue par sa forte valeur ajoutée et le fait qu'elle est destinée à 70 % à la consommation locale (Agreste, 2009). Malgré ces atouts, les défis sont nombreux pour les maraîchers réunionnais, dont notamment la présence de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) (Delvare & Aberlenc, 1989). Avec plus de 4000 espèces réparties dans le monde entier, la famille des Tephritidae est, en termes de dégâts, la plus importante des diptères. En effet, 38 % des Tephritidae se développent au dépend d'un fruit-hôte lors du stade larvaire, responsable des principaux dégâts occasionnés aux cultures. A La Réunion, huit espèces nuisibles sont décrites (Quilici & Jeffrault, 2001), trois d'entre-elles appartenant à la tribu des Dacini (White & Elson-Harris, 1992). Ces dernières, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett, 1899), *Dacus ciliatus* (Loew, 1901) et *Dacus demmerezi* (Bezzi, 1917) sont inféodées aux Cucurbitaceae (Orian & Moutia, 1960 ; Etienne, 1974) et peuvent entraîner jusqu'à 90 % de perte au sein de certaines cultures (Vayssières, 1999). Compte tenu des résultats très contrastés obtenus par la lutte agro-chimique traditionnelle (Roessler, 1989 ; Dhillon & al., 2005), de son coût économique et des dommages écologiques qu'elle occasionne (Deguine & al. 2008), le développement de nouvelles méthodes est nécessaire. C'est dans cette optique que le CIRAD mène, à La Réunion, des recherches approfondies sur l'écologie et le comportement des mouches des Cucurbitaceae. L'objectif actuel est de développer des pratiques de prévention des infestations par la connaissance et la gestion des équilibres écologiques de l'agro-écosystème. Les travaux réunionnais s'inspirent largement de ceux réalisés depuis les années 1950 à Hawaii, où *B. cucurbitae* est présente. Ces derniers rapportent que la dispersion des adultes de *B. cucurbitae* ne se limite pas à la culture de Cucurbitaceae-hôtes. Celle-ci est principalement fréquentée par des individus immatures et des femelles gravides qui effectuent des mouvements journaliers entre la culture et ses abords immédiats (Nishida & Bess, 1957). Certaines plantes qualifiées de « plantes-pièges » ont une attractivité plus marquée et constituent un site de refuge et d'alimentation pour l'ensemble de la population adulte de *B. cucurbitae* (Mac Quate & al. 2003 ; Mac Quate & Vargas, 2007). Des études préliminaires visant à décrire les interactions entre mouches des Cucurbitaceae, plantes-hôtes (Cucurbitaceae) et plantes-pièges, dont le maïs (*Zea mays* ; Linné, 1753), ont été réalisées à La Réunion (Atiama, 2008) et confirment les conclusions hawaïennes.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'influence de l'incorporation de plantes-pièges en bordure, sur les interactions entre mouches des Cucurbitaceae et les communautés végétales au sein de différents agro-écosystèmes maraîchers à La Réunion. Cette thématique se détaille en deux questions de recherche : (1) comment la présence de plants de maïs disposés en bordure de parcelle de Cucurbitaceae affectent la bio-écologie des adultes de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*. (2) quels sont les facteurs qui modulent l'influence des bordures sur les interactions entre mouches des Cucurbitaceae et communautés végétales de l'agro-écosystème. Pour répondre à ces questions, on étudiera la répartition spatiale et les rythmes journaliers d'activités des adultes des trois espèces au sein de différents systèmes {culture de Cucurbitaceae + bordure de maïs}, ceci à différentes altitudes.

## I) MATERIEL ET METHODES

### I-A) Matériel biologique : caractéristiques des espèces étudiées

#### I-A-1) Les mouches des Cucurbitaceae, ravageurs d'importance économique à La Réunion

La tribu des Dacini regroupe 765 espèces réparties mondialement. Sa position systématique est la suivante :

Ordre : DIPTERA  
 Sous-ordre : BRACHYCERA  
 Division : CYCLORRAPHA  
 Infra-ordre : SCHIZOPHARA  
 Groupe : ACALYPTRATAE  
 Super-famille : TEPHRITIDOIDAE  
 Famille : TEPHRITIDAE  
 Sous-famille : DACINAE  
 Tribu : DACINI

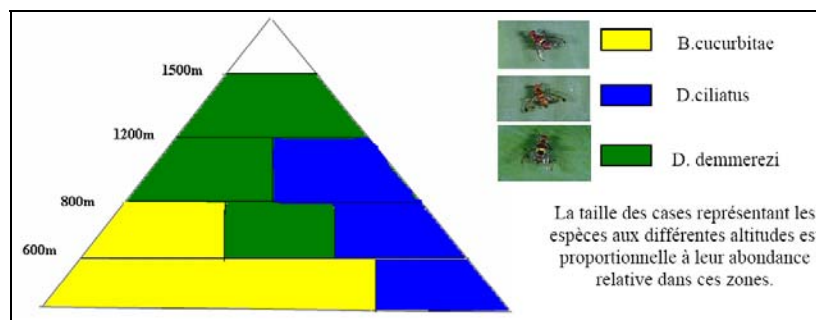
Les espèces étudiées (cf. Figure 1), *B. cucurbitae* (i.e. mouche du melon), *D. ciliatus* (i.e. mouche éthiopienne des Cucurbitaceae) et *D. demmerezi* (i.e. mouche des Cucurbitaceae de l'océan Indien) se différencient au stade adulte sur la base d'éléments morphologiques liés aux ailes et aux thorax (cf. Annexe I et Annexe II).



**Figure 1** : *D. ciliatus* (à gauche), *B. cucurbitae* (au centre), *D. demmerezi* (à droite), (photographies : A. Franck)

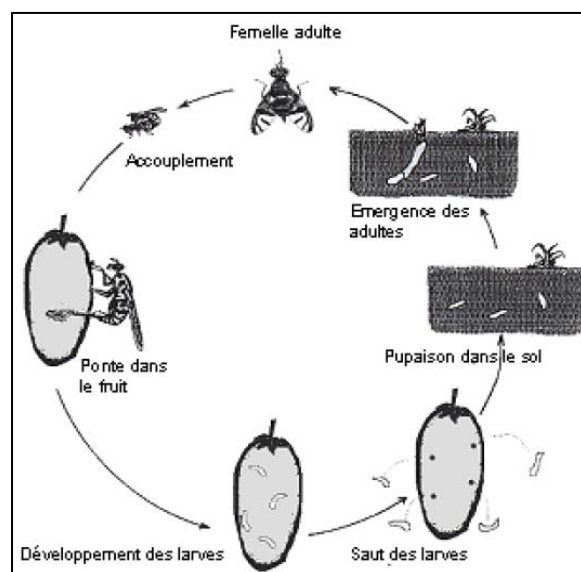


*D. ciliatus* est la première des trois mouches des Cucurbitaceae identifiées à la Réunion, en 1964 (Pointel, 1964). Son aire de répartition sur l'île est large, du littoral jusqu'à 1200m d'altitude (cf. Fig.2). Les premières identifications de *B. cucurbitae* et de *D. demmerezi* datent de 1972 (Etienne, 1982). La première est abondante jusqu'à 600m d'altitude, la seconde de 600m à 1500m.



**Figure 2 :** Répartition spatiale des mouches des Cucurbitaceae, en fonction de l'altitude, à la Réunion (Vayssières, 1999)

Les Dacini sont des insectes holométaboles dont la durée de développement et la longévité



varient selon les espèces mais aussi en fonction de facteurs abiotiques (cf. Annexe III) et du fruit-hôte. Les stades du cycle biologique ont lieu dans différents habitats (cf. Fig.3). L'œuf et la larve se développent au sein du fruit. En fin de développement, les larves quittent le fruit et s'enfoncent dans les premiers centimètres du sol pour effectuer la pupaïson. Après une à trois semaines, les individus immatures émergent et se dispersent.

**Figure 3 :** cycle biologique des mouches des fruits (Brévault & Quilici, 2000)

Les adultes sont polyphages (Nishida, 1958) et fréquentent différents habitats végétaux. Dans cette étude, on s'intéresse à leur répartition spatiale et leurs comportements journaliers au sein d'agro-écosystèmes composés de plantes-hôtes cultivées et de « plantes-pièges » disposées en bordure.

#### I-A-2) Les Cucurbitaceae, hôtes obligatoires du stade larvaire

Les Cucurbitaceae sont des Dicotylédones annuelles présentes sous les climats tropicaux et tempérés et répartis en plus de 118 genres et 800 espèces (Jeyffrey, 1990). Il en

existe quatorze espèces à La Réunion dont huit sont cultivées (Quilici & Jeffrault, 2001). Nos observations ont lieu au sein de cultures de courgette (*Cucurbitae pepo*), de citrouille (*Cucurbita maxima*), et de concombre (*Cucumis sativus*).

### I-A-3) Plante-piège : l'exemple du maïs

A Hawaii comme à La Réunion, la capacité de la bordure de maïs à attirer les populations d'adultes de *Dacini* a été mise en évidence. Par l'abri et la source alimentaire qu'elle fournit, cette plante semble très attractive (Mac Quate & al., 2003 ; Mac Quate & Vargas, 2007 ; Atiama, 2008). C'est pourquoi on peut la qualifier de « plante-piège ». En concentrant les populations adultes sur ce type de plantes non-hôtes disposée en bordure, on facilite la gestion des populations en terme de surveillance, ou d'élimination (Cook & al., 2007). D'autre part, le maïs, introduit à La Réunion par les premiers habitants vers 1663, présente la qualité de bien s'intégrer aux pratiques culturelles locales et peut constituer une ressource secondaire destinée à l'élevage vivrier. C'est donc un bon modèle d'étude de la répartition spatiale des populations de mouches des Cucurbitaceae entre culture et bordure de « plante-piège ».

## **I-B) Sites d'étude (cf. Annexe IV)**

On dispose de quatre parcelles expérimentales (cf. Tableau 1) réparties en trois sites.

**Tableau 1** : descriptif des parcelles d'expérimentation

Site d'étude	Altitude	Culture	Date de plantation de la culture	Bordure	Date de plantation du maïs
<b>Piton Hyacinthe</b>	1150 m	Courgette	Fin Octobre	Maïs	Début Décembre
<b>Tan Rouge</b>	750 m	Citrouille	16/10/2008	Maïs, jacquiers	Non-connue
<b>Tan Rouge</b>	750 m	Concombre	01/12/2008	Maïs	Non-connue
<b>Bois des Nèfles</b>	750 m	Citrouille	Début Mars	Maïs	Mi-février

### I-B-1) Site d'étude de Piton Hyacinthe (cf. Annexe V)

Au sud de l'île, à 1150 m d'altitude, le site de Piton Hyacinthe se trouve dans un bassin de maraîchage intensif. Le paysage est simple avec une occupation du sol peu diverse. Il existe naturellement peu de plantes de bordure : seuls quelques arbustes sont présents aux abords des cultures. La parcelle d'observation, de 17.5 ares, est composée de plants de courgette et d'une bordure de deux rangs de maïs.



**Figure 4** : parcelle d'expérimentation de Piton Hyacinthe

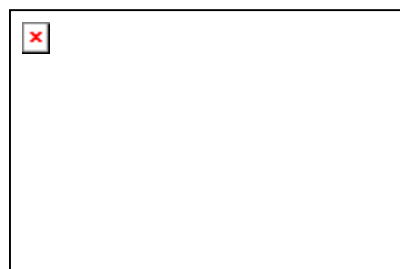
### I-B-2) Site d'étude de Tan Rouge (cf. Annexes VI et VII)

Au sein de ce site situé au Nord-Ouest, à 750 m d'altitude, on dispose de deux parcelles expérimentales. Celles-ci sont le siège d'une agriculture vivrière qui montre une grande diversité. Les parcelles de citrouilles (9.75 ares) et de concombre (4.5 ares), (cf. Fig.5) sont bordées d'arbres fruitiers, outre le rang de maïs planté en bordure.



**Figure 5** : Parcelle de concombre bordée de maïs de Tan Rouge

### I-B-3) Sites d'étude de Bois des nèfles (cf. Annexe VIII)



Le troisième site est proche de celui de Tan Rouge, à la même altitude (750 m). L'occupation du sol majoritaire est liée à l'habitation. Quelques parcelles de cultures vivrières subsistent dont la culture de citrouille étudiée s'étendant sur 9.5 ares et bordée d'un rang de maïs.

**Figure 6** : Parcelle de citrouille bordée de maïs du Bois des Nèfles

## **I-C) Protocoles expérimentaux :**

Le protocole mis en place lors de cette étude, s'inspire de celui mis en place l'année précédente (Atiama, 2008). Ce dernier avait l'objectif de mettre en évidence le mouvement journalier des populations entre bordure et culture en relation avec un rythme journalier des activités, au sein d'un système {culture de courgette + bordure de maïs}

### I-C-1) Etude de la répartition du rythme journalier d'activités au sein du système {culture + bordure}

#### *a) Dates et fréquences des observations*

A Piton Hyacinthe, les observations s'échelonnent entre le 13/01 et le 24/03, date à laquelle la bordure de maïs était sèche. A Tan Rouge, elles s'étaient entre le 14/01 et le 17/04 dans la parcelle de citrouille. Après le 31/03, la bordure de maïs était totalement sèche. Toutefois, l'effectif de mouches restait important sur la bordure mixte d'arbres fruitiers (principalement composée de jacquier, *Artocarpus heterophyllus*). C'est pourquoi lors des deux dernières dates, ces végétaux ont été échantillonnés. Sur la parcelle de concombre, les

effectifs étant réduits, seules deux observations complètes ont été réalisées en début de campagne d'échantillonnage. Enfin, l'effectif de mouches dans la parcelle de citrouille du Bois des Nêfles a été dénombré durant une seule journée en raison des plantations tardives et du nombre anecdotique de mouches. Il était prévu d'échantillonner tous les quinze jours chaque parcelle mais les conditions météorologiques (fortes pluies et vent) n'ont pas permis de maintenir cette régularité. Ainsi, nous ne disposons que de cinq dates d'observations complètes, réparties irrégulièrement dans le temps, au sein des parcelles de citrouille à Tan Rouge et de courgette à Piton Hyacinthe. Durant chaque date d'observation, un relevé de l'effectif du peuplement est effectué toutes les heures, de 7h00 à 18h00.

*b) Variables relevées durant chaque heure d'observation (cf. Tab. 2) :*

En plus de l'effectif, des facteurs qualitatifs (cf. Annexe IX) sont relevés pour chaque individu : l'espèce, le sexe, la position sur la plante, le type d'organe fréquenté (le type de fruit-hôte est également décrit à savoir fruit de type 1 non-fécondé, fruit type 2 fécondé en grossissement, fruit type 3 mûr ayant atteint sa taille maximale) ainsi que son activité.

**Tableau 2** : Variables qualitatives relevées pour chaque individu recensé

		BORDURE	CULTURE
LOCALISATION SUR LA PLANTE	Organe	Sur la feuille Sous la feuille Sur la Tige Sur l'inflorescence	Sur la feuille Sous la feuille Sur la Tige Sur l'inflorescence Sur le fruit
	Hauteur	Basse Moyenne Haute	Pas de strate
CARACTERISTIQUES DES MOUCHES	Espèce	<i>B. cucurbitae</i> <i>D. ciliatus</i> <i>D. demmerezi</i>	<i>B. cucurbitae</i> <i>D. ciliatus</i> <i>D. demmerezi</i>
	Sexe	Mâle Femelle	Mâle Femelle
ACTIVITES	Activités des mâles	Repos Alimentation Lek Accouplement	Repos Alimentation Lek Accouplement
	Activités des femelles	Repos Alimentation Accouplement	Repos Alimentation Accouplement Ponte

### *c) Etat de la parcelle*

Lors de chaque observation, on décrit l'état de la parcelle, c'est-à-dire l'état phénologique de la culture (présence ou absence de fruits) et l'état de conservation du maïs (du maïs vert au maïs totalement sec et couché) (cf. Tab. 3).

### I-C-2) Description du comportement nocturne :

Deux observations ayant pour objectif de décrire le comportement nocturne des trois espèces étudiées, ont été réalisées sur le site de Piton Hyacinthe.

La première observation, le 27/02, a eu lieu entre 4h30 et 7h00 du matin. Elle a consisté à repérer quatre couples de *D. demmerezi* sur une bordure de maïs et à décrire leur comportement jusqu'à la levée du jour.

La seconde observation a eu lieu le 17/03 (de 17h00 et 20h30) et le 18/03 (de 4h30 à 7h00). Elle a consisté à repérer neuf couples (sept couples de *D. demmerezi*, un de *D. ciliatus* et un de *B. cucurbitae*) le soir et à définir la durée des accouplements en comptant le nombre de couples toujours assemblés le lendemain matin (ainsi qu'en définissant les modalités de la séparation).

### I-D) Analyse des données :

Pour l'analyse statistique comme pour la représentation graphique, le logiciel utilisé est le logiciel gratuit R (version 2.9.0., R development Core Team, 2009, Vienne, Autriche). L'analyse statistique a pour objectif de mettre en évidence les caractéristiques des populations étudiées, en termes de répartition spatiale entre bordure et culture et de sex-ratio. Tous les tests statistiques sont considérés comme significatifs au seuil de 5% (si la probabilité  $p < 0.05$ , on rejette l'hypothèse nulle  $H_0$  et on accepte l'hypothèse  $H_1$ ).

#### I-D-1) Analyse de la répartition spatiale des populations adultes entre bordure et culture :

Dans un premier temps, on considère l'effectif recensé quotidiennement, par espèce, sexe, et localisation. Cette variable permet de mettre en évidence le déséquilibre de la répartition spatiale entre bordure et culture, en raisonnant sur un nombre important d'individus. Le test statistique utilisé est un test binomial exact. On teste l'hypothèse suivante pour chaque date, chaque espèce et chaque sexe :

$$\boxed{H_0 : \text{Effectif (bordure)} = \text{Effectif (culture)} \text{ vs. } H_1 : \text{Effectif (bordure)} \neq \text{Effectif (culture)}}$$

Ensuite l'objectif est d'identifier des facteurs de variations de la répartition spatiale. Pour cela, on réalise un modèle GLM réalisé à partir de la variable Pb correspondant à la proportion de l'effectif horaire (total des individus recensé chaque heure) présente sur la bordure.

$$Pb = \frac{Eb}{Eb + Ec}$$

avec Eb : Effectif par heure sur bordure  
Ec : Effectif par heure sur culture

Par le biais d'une ANOVA, on analyse l'effet de différents facteurs, à savoir les effets « date » et « sexe » sur la variable Pb ainsi que leur interaction « date\*sexe ». L'effet des facteurs est précisé ensuite par le biais de test de Tukey. Les hypothèses testées sont :

- **Effet « date »** : **Ho** : Pb (date i) = Pb (date j) vs. **H1** : Pb (date i) ≠ Pb (date j)

- **Effet « sexe »** : **Ho** : Pb (femelle) = Pb (mâle) vs. **H1** : Pb (femelle) ≠ Pb (mâle)

- **Effet de l'interaction « sexe » et « date »** :

**Ho** : [Pb (date i ; femelle) – Pb (date i ; male)] = [Pb (date j ; femelle) – Pb (date j ; male)] vs.

**H1\*** : [Pb (date i ; femelle) – Pb (date i ; male)] ≠ [Pb (date j ; femelle) – Pb (date j ; male)]

\* H1 : la différence entre Pb (mâle) et Pb (femelle) varie en fonction de la date considérée

#### I-D-2) Analyse du sex-ratio des populations d'adultes :

On cherche à savoir si l'effectif des mâles est équivalent à celui des femelles sur bordure et sur culture, pour les différentes dates d'observations. Comme précédemment, un test binomial est appliqué en raisonnant sur les effectifs quotidiens. L'hypothèse testée est la suivante :

**Ho** : Effectif (mâle) = Effectif (femelle) vs. **H1** : Effectif (mâle) ≠ Effectif (femelle)

## II) RESULTATS

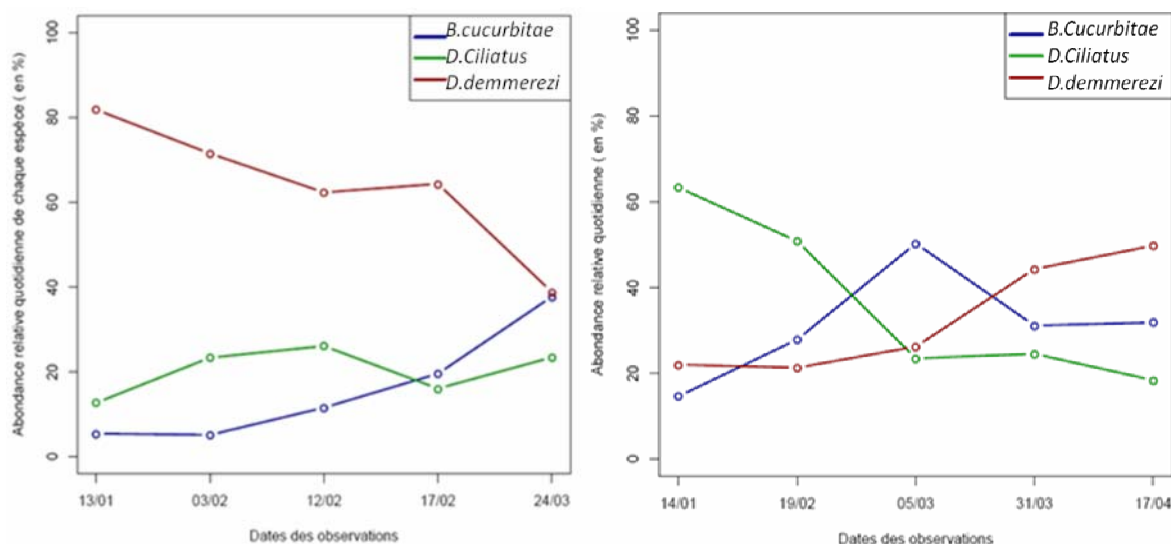
Les résultats sont présentés en trois parties. Dans un premier temps, on détaillera les caractéristiques générales des peuplements de mouches des Cucurbitaceae dans les agro-écosystèmes étudiés, à savoir leur composition spécifique ainsi que la répartition spatiale et le sex-ratio des trois populations étudiées (partie 1). Ensuite, on s'intéressera aux mécanismes pouvant expliquer ces phénomènes, c'est-à-dire l'évolution journalière des effectifs entre bordure et culture (partie 2) et les comportements qui la justifient (partie 3).

### II-A) Caractéristiques du peuplement de mouches des Cucurbitaceae au sein d'un agro-écosystème

Deux agro-écosystèmes présentant des effectifs quotidiens conséquents sont étudiés : le système {courgette + bordure de maïs} à Piton Hyacinthe et le système {citrouille + bordure mixte} à Tan Rouge. Les caractéristiques des deux autres systèmes sont présentées succinctement en annexe (cf. Annexe XI)

#### II-A-1) Abondance relative de chaque espèce au sein du peuplement

Les graphiques ci-dessous (cf. Fig.7) illustrent l'abondance relative de chaque espèce au sein du peuplement durant la campagne d'échantillonnage.



**Figure 7 :** Abondance relative de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi* au sein de l'effectif total quotidien du peuplement (à gauche : Piton Hyacinthe ; à droite : Tan Rouge).

A Piton Hyacinthe, le peuplement de mouches des Cucurbitaceae est dominé par *D. demmerezi* dont l'abondance relative varie entre 82 % le 13/01, et 39 % le 24/03. Seule la

dernière observation se distingue par une proportion équivalente de *B. cucurbitae* (38 %). De manière générale, l'abondance relative de *D. ciliatus* est faible : elle varie entre 13 % le 13/01 et 26 % le 12/02.

A Tan Rouge, aucune tendance persistante n'est mise en évidence. En effet, *D. ciliatus* est majoritaire lors des deux premières observations avec des abondances relatives de 63 % et 51 %. Puis le 05/03, *B. cucurbitae* représente 50 % de l'effectif total alors que les deux dernières observations montrent des peuplements dominés par *D. demmerezi* (44 % de l'effectif quotidien le 31/03 et 50 % le 17/04).

Le tableau 3 complète l'information précédente en présentant les effectifs quotidiens du peuplement en relation avec les caractéristiques végétales de l'agro-écosystème, à Piton Hyacinthe et à Tan Rouge.

**Tableau 3 :** Effectif total quotidien du peuplement et caractéristiques des parcelles expérimentales pour différentes dates d'observation.

PITON HYACINTHE	13/01	03/02	12/02	17/02	24/03
<b>Présence de fruits</b> (présence = + / absence = 0)	0	+	+	+	+
<b>Feuillage du maïs</b> (vert = +++ / sec = 0)	+++	++	++	+	0
<b>Effectif quotidien</b>	<b>2019</b>	<b>3552</b>	<b>3124</b>	<b>2531</b>	<b>2154</b>
TAN ROUGE	14/01	19/02	05/03	31/03	17/04
<b>Présence de fruits</b> (présence = + / absence = 0)	0	+	+	+	+
<b>Feuillage du maïs</b> (vert = +++ / sec = 0)	+++	++	++	0	0
<b>Effectif quotidien</b>	<b>1120</b>	<b>223</b>	<b>183</b>	<b>760</b>	<b>201</b>

Les effectifs sont supérieurs à Piton Hyacinthe (rapportés à la surface du système, ils varient de 1.15 à 2.04 mouches/m<sup>2</sup> à Piton Hyacinthe contre 0.2 à 1.15 mouches/m<sup>2</sup> à Tan Rouge). Comme précédemment une tendance nette se dégage à Piton Hyacinthe : la dégradation de l'état végétatif de la bordure de maïs s'accompagne d'une baisse de l'effectif quotidien (qui s'explique notamment par une baisse des effectifs de *D. demmerezi*, l'espèce majoritaire). D'autre part, les effectifs sont minimums le 13/01 alors qu'il n'y a pas de fruits dans la parcelle, ainsi que lorsque la bordure est sèche, le 24/03. A Tan Rouge, le nombre de mouches recensées chaque jour varie sans relation apparente avec l'état végétatif de la parcelle et de la bordure, l'effectif maximum étant observé en l'absence de fruits, le 14/01.



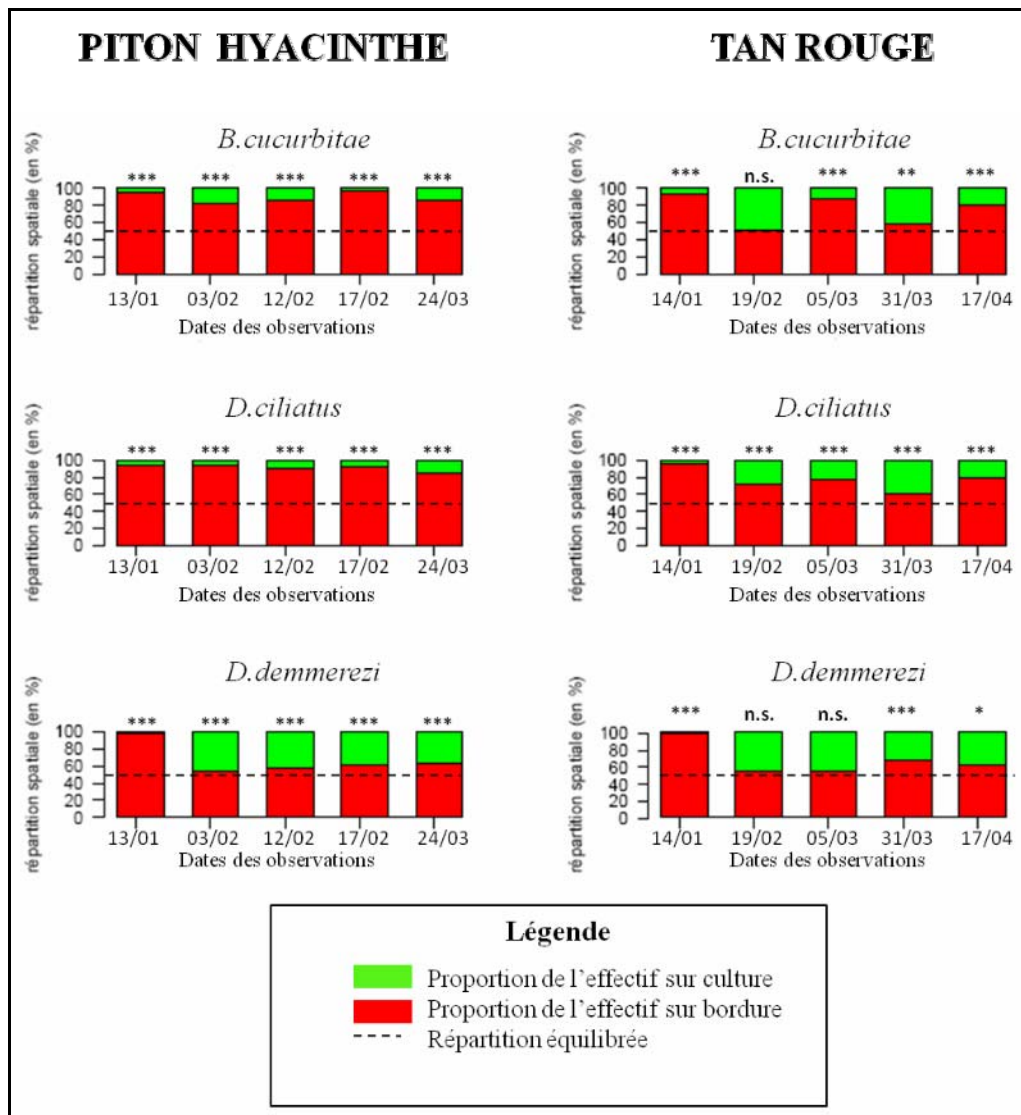
*A Piton Hyacinthe, dans le système {courgette + bordure de maïs}, le peuplement de mouches des Cucurbitaceae est dominé par *D. demmerezi*, dont les variations peuvent être mises en relation avec l'évolution de l'état de la parcelle (la présence de fruit) et de la bordure (état végétatif du maïs). A Tan Rouge, au sein du système {citrouille + bordure mixte}, les effectifs sont plus faibles sans dominance d'une espèce sur le long terme. Aucune relation apparente entre l'état de la parcelle et les effectifs des différentes espèces n'est observée.*

## II-A-2) Répartition spatiale des trois populations au sein de l'agro-écosystème

Lors des différentes dates d'échantillonnage, une répartition spatiale inégale du peuplement entre la bordure et la culture a été observée : le peuplement est plus important sur la bordure. Les figures suivantes (cf. Fig. 8) représentent les proportions quotidiennes des populations sur la culture et sur la bordure dans chaque système. Elles sont accompagnées des résultats du test binomial permettant de mettre en évidence ou non cette répartition spatiale inégale.

A Piton Hyacinthe, l'effectif de chaque population sur la bordure est significativement supérieur à 50 % de leur effectif total, quelle que soit la date d'observation. Cette proportion varie entre 83 % et 95 % pour *B. cucurbitae*, entre 84 % et 95 % pour *D. ciliatus*, et entre 55 % et 95 % pour *D. demmerezi* (les proportions de chaque population sur la bordure les plus hautes étant observées le 13/01 en l'absence de fruit sur la parcelle).

A Tan Rouge, cette tendance est légèrement moins marquée mais les effectifs sont toujours plus importants sur la bordure. Le pourcentage de la population sur la bordure varie entre 51 % (le 19/02) et 94 % (le 14/01) pour *B. cucurbitae*, entre 61 % (le 31/03) et 95 % (le 14/01) pour *D. ciliatus* et entre 54 % (le 19/02 et le 05/03) et 98 % (le 14/01) pour *D. demmerezi*. Bien que pour toutes les populations et toutes les dates d'observation, la proportion quotidienne de la population sur la bordure soit supérieure à 50%, dans trois cas c'est-à-dire le 19/02 pour *B. cucurbitae* ainsi que le 19/02 et le 05/03 pour *D. demmerezi*, le test binomial ne permet pas de confirmer statistiquement cette observation. Ceci peut en partie s'expliquer par le fait que les effectifs des deux populations sont faibles lors de ces deux dates (le test binomial est en conséquence moins puissant).



**Figure 8** : Répartition spatiale des populations de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi* exprimée en pourcentage de l'effectif quotidien sur bordure et sur culture. La proportion d'individus sur bordure  $P$  est testée par un test binomial exact ( $H_0 : P=0.5$  contre  $H_1 : P \neq 0.5$ ) ; n.s.= test non significatif, \* = test significatif, \*\*= test hautement significatif, \*\*\*= test très hautement significatif.

Dans un second temps, un modèle GLM suivi d'une ANOVA analysant l'effet des facteurs « date » et « sexe » sur la proportion horaire moyenne de la population sur la bordure (i.e.  $P_b$ ) a été réalisée (cf. Annexe X). A Piton Hyacinthe, ces deux facteurs et leur interaction ont des effets significatifs, quelle que soit l'espèce. Les proportions de population de femelles sur bordure sont généralement plus basses que celles des mâles. D'autre part, les premières dates d'observations se distinguent par des proportions de populations sur la bordure plus importantes que lors des autres dates, en particulier pour les femelles. A Tan Rouge, l'effet « sexe » n'a pu être mis en évidence pour les populations de *B. cucurbitae* et *D. ciliatus*. En ce qui concerne le facteur « date », celui-ci s'exprime par une proportion quotidienne

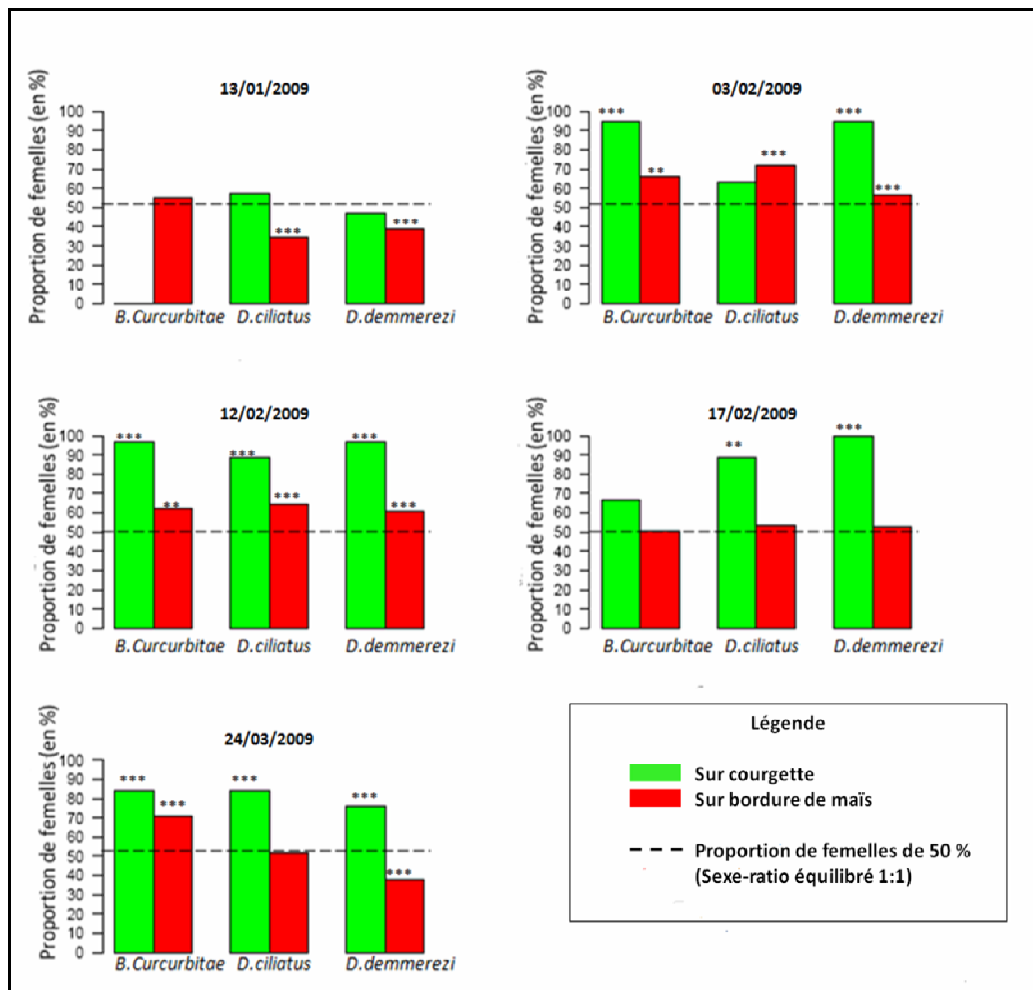
moyenne de la population plus importante sur la bordure le 14/01 et le 05/03 ( $P_b > 80\%$  pour les mâles comme pour les femelles). Pour finir, les tests réalisés à partir des données de la population de *D. demmerezi* révèlent l'effet des deux facteurs étudiés ainsi que leur interaction. Les proportions sur bordure le 14/01 sont plus importantes pour les mâles et les femelles comparé aux autres observations, mais les tests de comparaison de moyenne ne sont significatifs que pour les mâles. Les différences entre mâles et femelles sont statistiquement significatives seulement le 31/03 alors que de plus fortes différences sont calculées le 05/03.

*Les trois populations de mouches des Cucurbitaceae sont inégalement réparties entre la bordure et la culture dans les deux systèmes étudiés avec des effectifs plus importants sur la bordure. Cette tendance est plus marquée à Piton Hyacinthe en particulier pour les mâles et lors les premières dates d'observation. A Tan Rouge, ce déséquilibre est moins marqué mais il persiste en particulier lors de deux dates d'observation, à savoir le 14/01 et le 05/03.*

### II-1-3) Etude du sex-ratio sur bordure et sur culture.

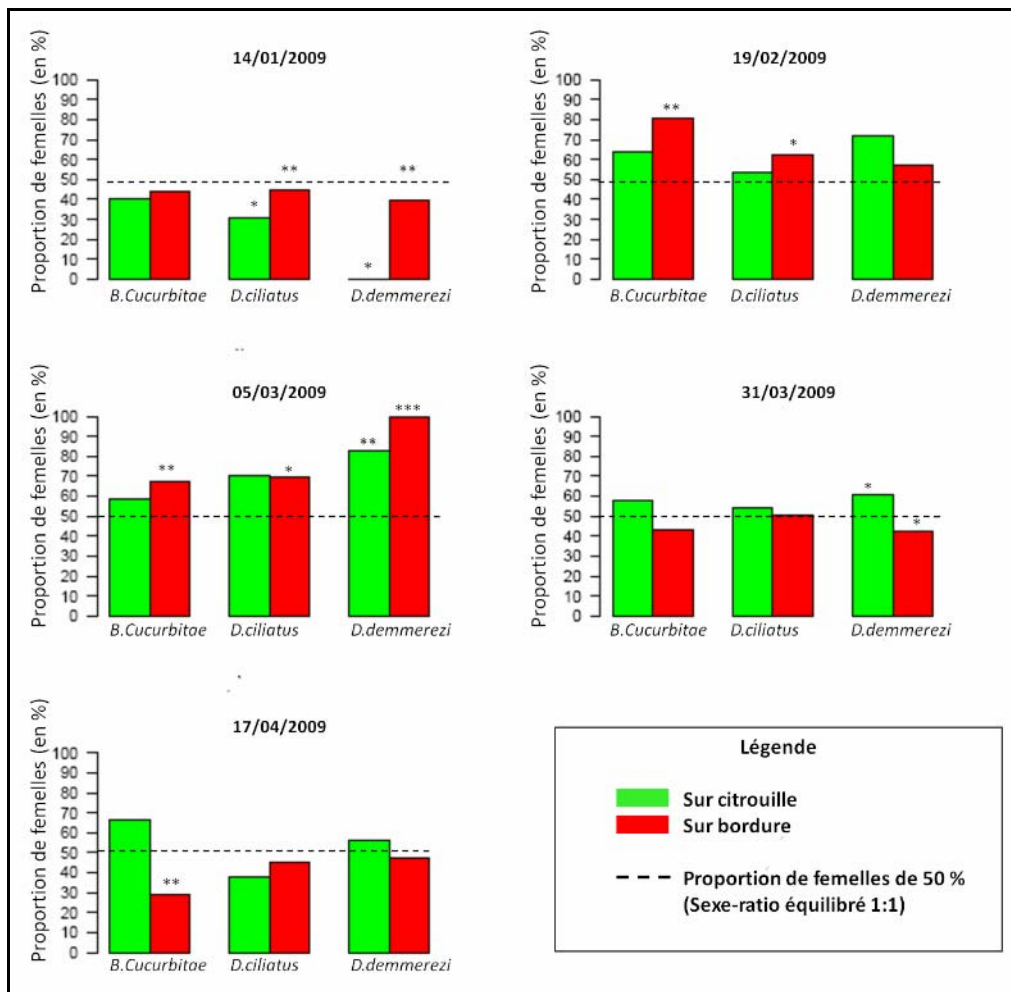
Les observations précédentes mettent en évidence des différences dans la répartition spatiale des mâles et des femelles. Les figures suivantes présentent le sex-ratio (exprimé en pourcentage de femelles de l'effectif quotidien) pour chaque population, chaque date d'observation en distinguant la bordure de la culture.

A Piton Hyacinthe (cf. Fig. 9) sur la culture, le sex-ratio est significativement déséquilibré à l'avantage des femelles lors de la plupart des dates d'observation. Seule l'observation du 13/01 fait exception alors que les effectifs sont faibles et qu'il n'y a pas encore de fruits dans la culture. Dans ce cas, le sex-ratio est soit équilibré pour *D. ciliatus* et *D. demmerezi* soit à l'avantage des mâles pour *B. cucurbitae* (aucune femelle n'a été recensée sur la culture lors de cette date). Sur la bordure, la proportion de femelles est nettement moins importante. En effet, le 13/01, le sex-ratio est à l'avantage des mâles pour les populations de *D. ciliatus* et de *D. demmerezi*, et il est équilibré pour la population de *B. cucurbitae*. Lors des deux observations suivantes, le 03/02 et le 12/02, la proportion de femelles est significativement supérieure à 50 % pour les trois populations. Le 17/02, les trois populations présentent des sex-ratios équilibrés et le 24/03 les proportions de femelles diffèrent selon les espèces : le pourcentage de femelles est supérieur à 50 % pour *B. cucurbitae*, proche de 50 % pour *D. ciliatus* et significativement inférieur à 50 % pour *D. demmerezi*.



**Figure 9** = Sex-ratio (exprimé en pourcentage de femelles de l'effectif quotidien) chez les populations de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*, par localisation (bordure ou culture) et par date d'observations à Piton Hyacinthe. Le sex-ratio  $P$  est testé par un test binomial exact ( $H_0 : P=0.5$  contre  $H_1 : P \neq 0.5$ ) ; n.s.= test non significatif, \* = test significatif, \*\* = test hautement significatif, \*\*\* = test très hautement significatif.

A Tan Rouge, les différences sont plus nuancées (cf. Fig. 10). En effet, sur la culture, les tests statistiques ne permettent de conclure à une majorité de femelles que dans deux cas sur quinze, à savoir le 05/03 et le 31/03 pour *D. demmerezi* (bien que dans onze cas sur quinze, la proportion de femelles soit supérieure à 50 %). A l'inverse, le 14/01, le sex-ratio est significativement déséquilibré à l'avantage des mâles pour *D. ciliatus* et *D. demmerezi*. Il en est de même pour la bordure lors de cette date. Le 19/02 et le 05/03 sur la bordure, le sex-ratio est à l'avantage des femelles contrairement aux deux dernières dates où la tendance s'inverse : les sex-ratios sont soit équilibrés soit à l'avantage des mâles



**Figure 10** = Sex-ratio (exprimé en pourcentage de femelles de l'effectif quotidien) chez les populations de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi*, par localisation (bordure ou culture) et par date d'observations à Tan Rouge. Le sex-ratio  $P$  est testé par un test binomial exact ( $H_0 : P=0.5$  contre  $H_1 : P \neq 0.5$ ) ; n.s.= test non significatif, \* = test significatif, \*\*= test hautement significatif, \*\*\*= test très hautement significatif.

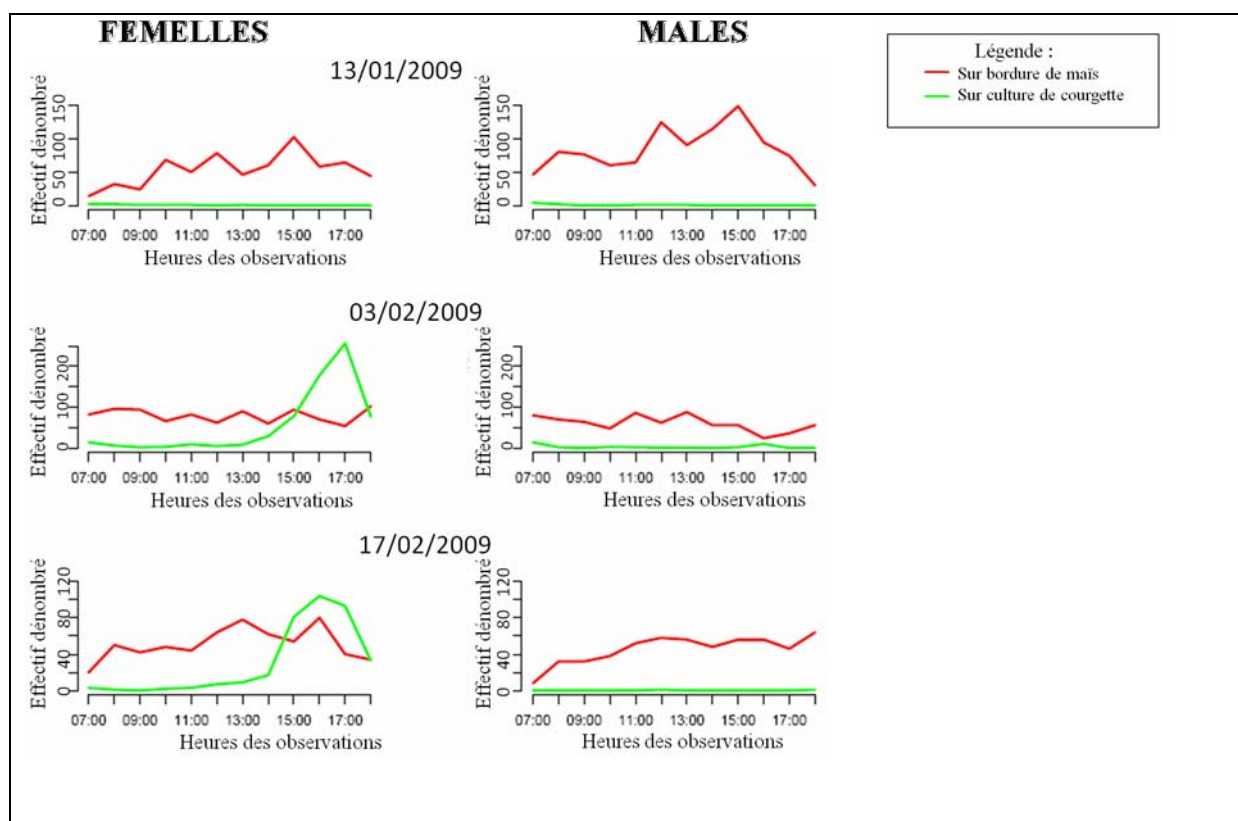
A Piton Hyacinthe, la proportion de femelles au sein de chaque population est le plus souvent supérieure à 50 %, en particulier sur la culture lorsque celle-ci produit des fruits. A Tan Rouge, le sex-ratio est plus équilibré mais on constate tout de même que les femelles sont plus nombreuses que les mâles dans la culture en présence de fruit. On retrouve ces caractéristiques générales des populations dans les systèmes {concombre + maïs} à Tan Rouge et {citrouille + maïs} au Bois des Nêfles (cf. Annexe XI)

## II-B) Etude de l'évolution journalière des effectifs sur bordure et culture

Lors de la campagne d'échantillonnage, une variabilité journalière importante des effectifs est observée, en particulier sur la culture. Au sein de cette partie, on présente l'évolution journalière des effectifs des trois populations sur bordure et sur culture, en distinguant les effectifs de femelles et de mâles. Seules trois observations sur cinq sont illustrées pour chaque espèce, à titre d'exemples. Le 13/01 et le 14/01 constituent des « observations-témoins » réalisées en l'absence de fruits dans la parcelle. A Piton Hyacinthe, les deux autres dates représentées ont été considérées en raison des effectifs. A Tan Rouge, on a représenté les résultats d'une observation réalisée alors que la bordure de maïs était encore présente ainsi que celle mettant en jeu les bordures d'arbres fruitiers en fin de campagne d'échantillonnage.

### II-B-1) Evolution journalière des effectifs entre bordure et culture à Piton Hyacinthe :

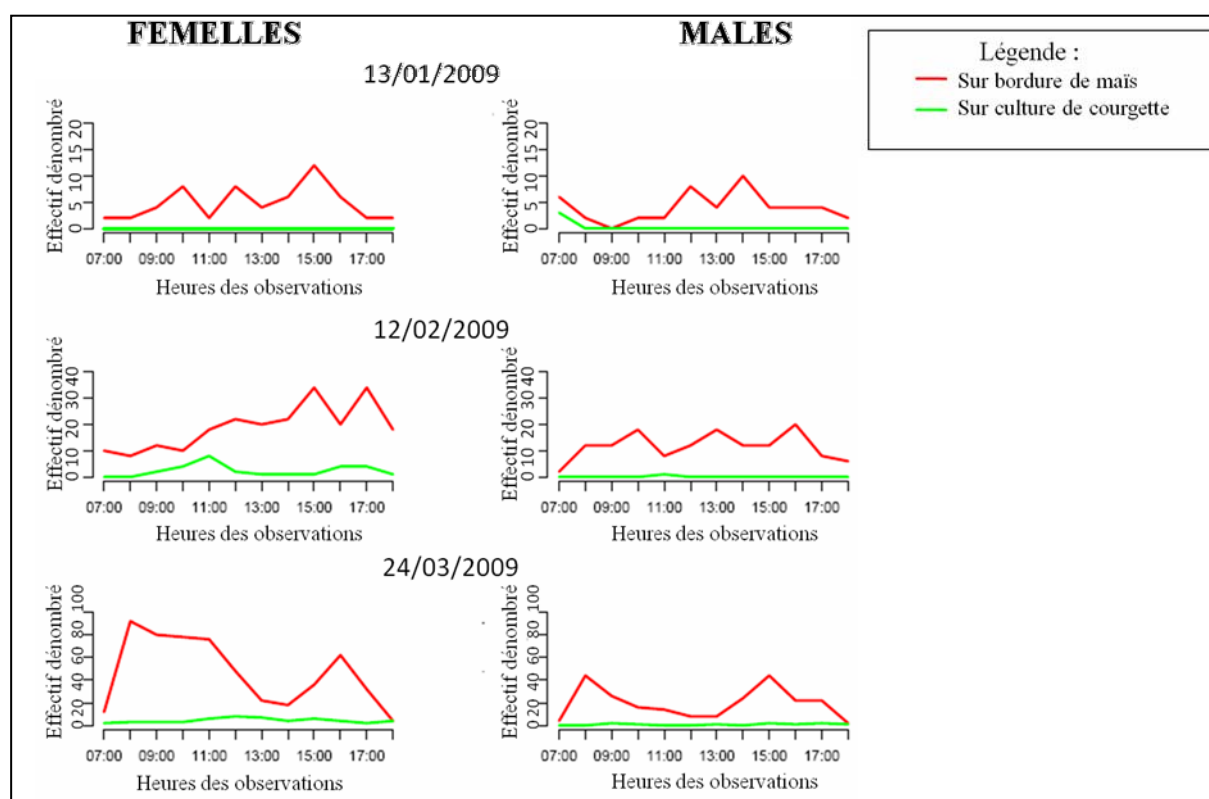
L'évolution journalière des effectifs de la population de *D. demmerezi* met en jeu des effectifs importants (cf. Fig.11) en particulier sur la bordure.



**Figure 11 :** Effectif horaire de *D. demmerezi* par sexe, et par date, au sein du système {culture + bordure} à Piton Hyacinthe

Contrairement aux mâles absents de la culture, les femelles fréquentent la culture à certaines heures de la journée. En effet, le 03/02 et le 17/02 (alors qu'il y a des fruits), l'effectif sur la culture augmente rapidement à partir de 14h00 pour atteindre un maximum supérieur à l'effectif de la bordure, entre 16h00 et 17h00. D'autre part, les effectifs sur la bordure de maïs augmentent sensiblement en début de journée (entre 7h00 et 9h00, le 13/01 et le 17/02) et diminuent en fin de journée (après 17h00) sur l'ensemble du système {culture + bordure}.

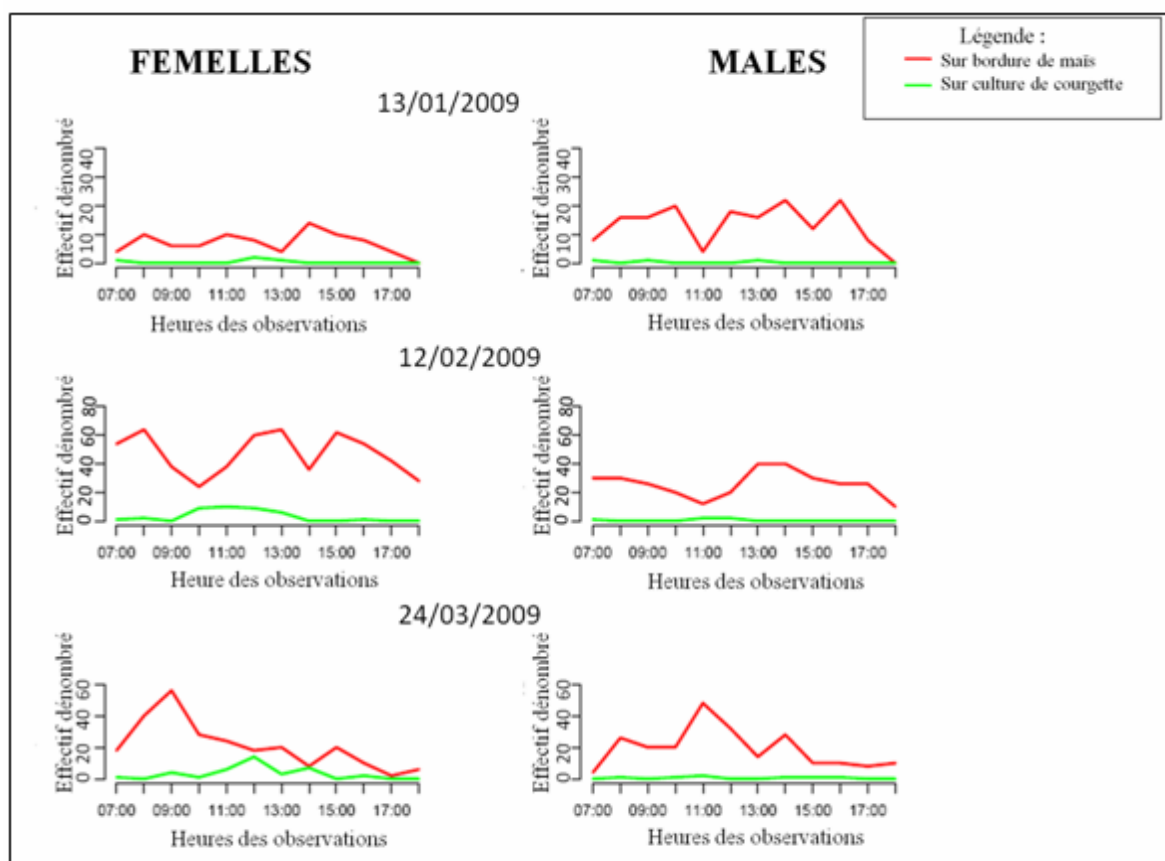
La variabilité journalière des effectifs de *B. cucurbitae* et *D. ciliatus* (cf. Fig. 12 et 13) est moins marquée mais les tendances sont comparables à celles des populations de *D. demmerezi*.



**Figure 12** : Effectif horaire de *B. cucurbitae* par sexe, et par date, au sein du système {culture + bordure} à Piton Hyacinthe

En effet, les effectifs sur la bordure sont plus importants que ceux recensés sur la culture lors de l'ensemble des dates d'observations. Alors que les effectifs de mâles restent quasiment nuls sur la culture, on peut y observer une augmentation des effectifs de femelles, en particulier le 12/02 et le 24/02 (en opposition avec le 13/01). Ces augmentations s'étalent de 9h00 à 15h00 pour *B. cucurbitae* et de 10h00 à 17h00 pour *D. ciliatus* : les incursions des femelles de *B. cucurbitae* et de *D. ciliatus* dans la culture restent moins massives et moins ponctuelles que celles de *D. demmerezi*. Pour finir, comme pour les populations de *D.*

*demmerezi*, les effectifs augmentent en début de journée et diminuent en soirée sur l'ensemble du système.



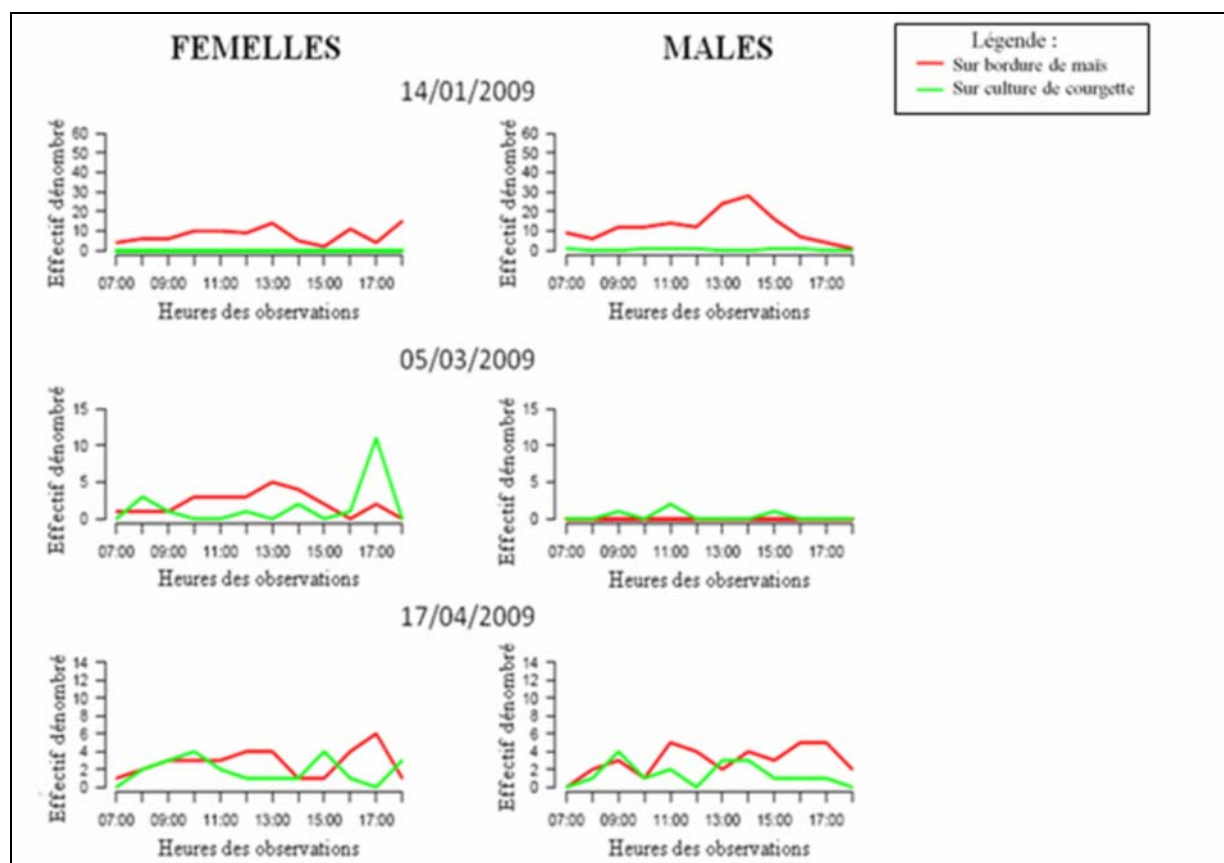
**Figure 13** : Effectif horaire de *D. ciliatus* par sexe, et par date, au sein du système {culture + bordure} à Piton Hyacinthe

## II-B-2) Evolution journalière des effectifs entre bordure et culture à Tan Rouge:

A Tan Rouge comme à Piton Hyacinthe, les effectifs de mouches des Cucurbitaceae sont plus importants sur la bordure tout au long de la journée comme le montrent les figures suivantes représentant l'évolution journalière des effectifs de *D. demmerezi* (cf. Fig.14 et Annexes XII et XIII : évolution journalière des effectifs de *B. cucurbitae* et de *D. ciliatus*). Cette tendance est plus marquée en l'absence de fruits, le 14/01. En effet, lors de cette observation, les effectifs de *D. demmerezi* sur culture sont très faibles voir nuls, pour les mâles comme pour les femelles. En revanche le 05/03 et le 17/04, le nombre de mouches recensé sur la culture est plus important, ceci pour les trois espèces. A l'instar de Piton Hyacinthe, cette tendance se vérifie particulièrement pour les femelles bien que cela soit moins marqué : à Piton Hyacinthe, les effectifs de mâles sur culture étaient proches de zéro tout au long de la journée tandis qu'à Tan Rouge, on observe pour les trois espèces des



incursions de mâles dans la culture de citrouille. D'autre part, il est difficile de déterminer des tranches horaires durant lesquelles les femelles fréquentent la parcelle comme précédemment, les effectifs étant plus faibles. Pour finir, on peut noter une augmentation des effectifs des trois populations en début de journée ainsi qu'une diminution générale après 17h00.



**Figure 14** : Effectif horaire de *D. demmerezi* par sexe, et par date, au sein du système {culture + bordure} à Tan Rouge

*L'évolution journalière des effectifs de mouches de Cucurbitaceae sur la bordure et la culture présente certaines caractéristiques. La présence d'un nombre de mouches plus important sur la bordure est une constante généralisable aux trois populations. La fréquentation de la culture (lorsque celle-ci contient des fruits), est une caractéristique des femelles. Chaque population est présente dans la culture à des tranches horaires spécifiques. En effet, les femelles de *D. demmerezi* fréquentent la culture en fin d'après-midi. Chez *B. cucurbitae* et *D. ciliatus*, les incursions de femelles sont moins ponctuelles et se situent en milieu de journée. Enfin, le nombre de mouches des Cucurbitaceae montre une augmentation le matin et une diminution en fin de journée, ce qui pourrait signifier que le peuplement ne se concentre au sein du système {culture+bordure} uniquement dans la journée mais qu'il se disperse à l'extérieur le soir.*

## **II-C) Rythme journalier des activités**

L'étude des comportements a pour objectif de mettre en relation la présence des mouches sur la bordure et la culture avec des activités. Tout d'abord, on s'intéresse au « repos » correspondant au comportement le plus fréquemment observé. Ensuite, on détaillera les caractéristiques des activités liées à la reproduction. Enfin, on conclura cette partie en décrivant le comportement nocturne des mouches des Cucurbitaceae. Seules les observations réalisées à Piton Hyacinthe seront détaillées dans la mesure où très peu d'activités liées à la reproduction ont été observées à Tan Rouge.

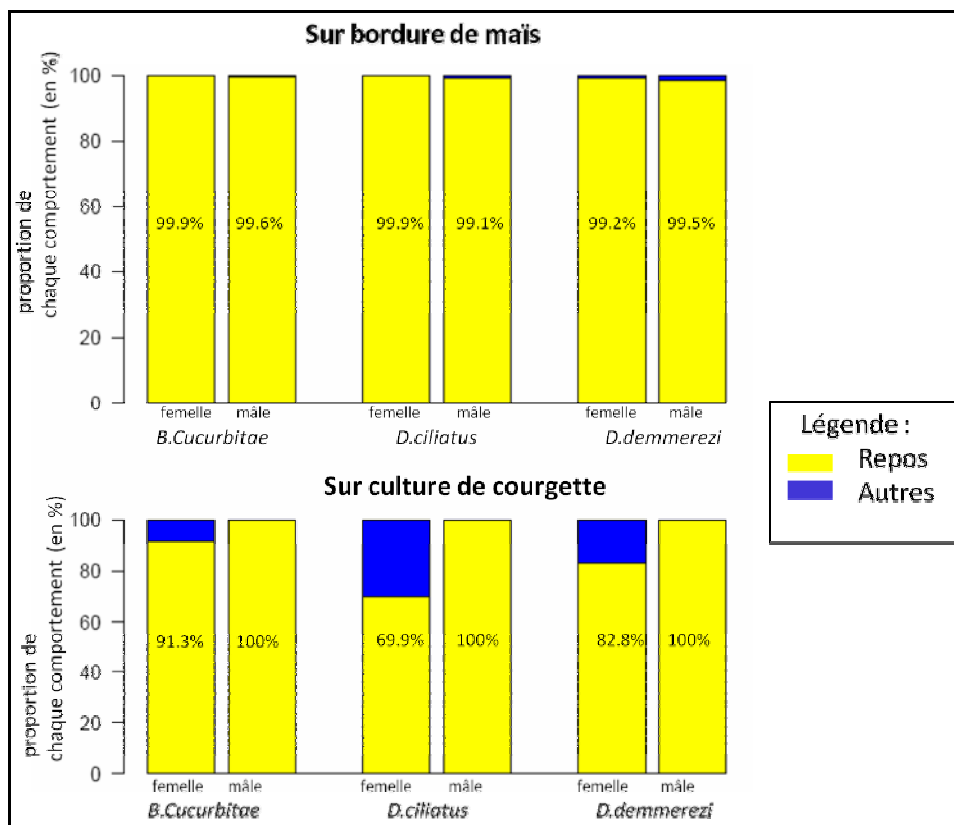
### **II-C-1) Le comportement de repos.**

#### *a) Définition du comportement de « repos »*

Lors des différentes observations, le terme de « repos » a été attribué pour qualifier un ensemble de comportements allant de l'immobilité sans activité particulière à une activité alimentaire et des courts déplacements. Chez les mouches des fruits, le concept de repos est à mettre en relation avec les termes anglais de « roosting » et de « roosting site » (Mac Quate & Vargas, 2007). Le premier terme signifie littéralement « étant juché » et le second caractérise des plantes présentant une forte attractivité bien qu'elles ne soient pas à un hôte obligatoire d'une phase du cycle de vie des mouches des fruits (en opposition avec les Cucurbitaceae, pour les espèces étudiées ici, dont le fruit est un hôte obligatoire du stade larvaire). Les auteurs considèrent le verbe « to roost » comme synonyme de l'expression « to seek shelter » qui signifie « chercher un abri ». Un « roosting site » correspond donc à une « plante-refuge » ou une « plante-piège ». D'autre part, ces auteurs expliquent l'attractivité de ces plantes par la source alimentaire que ces plantes représentent pour les mouches des fruits. C'est le cas, entre autres, du maïs (Mac Quate & al., 2003). Cependant, très peu de mouches en alimentation ont été observées sur la bordure de maïs lors de la campagne d'échantillonnage, c'est pourquoi le comportement alimentaire a été assimilé à celui de « repos » par la suite. Ainsi, on ne distingue du repos que les comportements liés à la reproduction à savoir les appels phéromonaux des mâles ou leks, les accouplements et la ponte.

#### *b) Importance du comportement de repos.*

La figure 15 présente le pourcentage d'individus observés au repos durant l'ensemble des observations à Piton Hyacinthe (en opposition aux autres comportements liés à la reproduction : les leks, les accouplements et les pontes).



**Figure 15** : Proportion des individus observés au repos durant l’ensemble de la campagne d’échantillonnage à Piton Hyacinthe

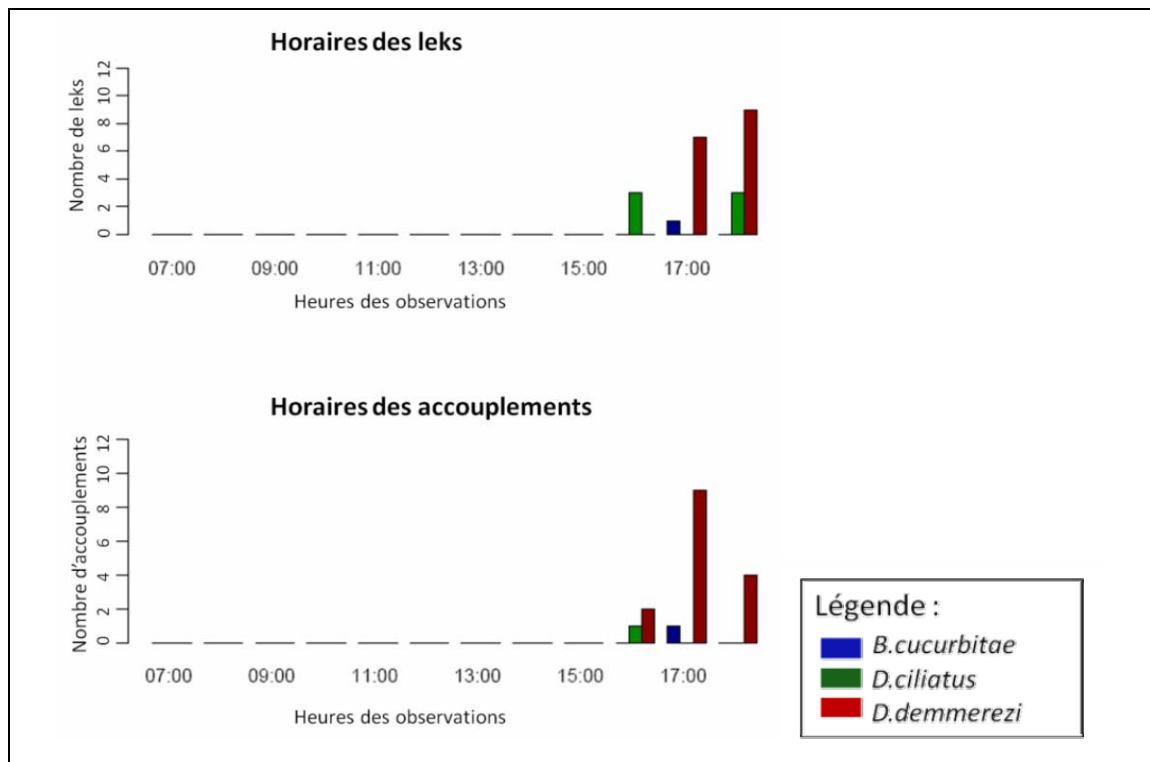
Ces résultats illustrent l’importance du repos en particulier sur la bordure. En effet, plus de 99 % des mouches recensées sur la bordure était au repos. Les rares autres activités concernent principalement les mâles (en lek) et plus rarement les accouplements. Les individus présents sur la bordure fréquentent principalement la face externe des feuilles et la strate intermédiaire des plants de maïs (cf. Annexe XIV).

Au sein de la culture, la proportion de femelles au repos est nettement plus basse que sur la bordure (entre 69.9 % des femelles de *D. ciliatus* et 91.3 % des femelles de *B. cucurbitae*). Les autres activités correspondent exclusivement à la ponte. Aucun lek ni accouplement n’a été observé sur la culture (expliquant ainsi le pourcentage de mâles au repos sur la culture de 100 %).

## II-C-2) Activités liés à la reproduction

### *a) Activités sexuelles : leks et accouplements*

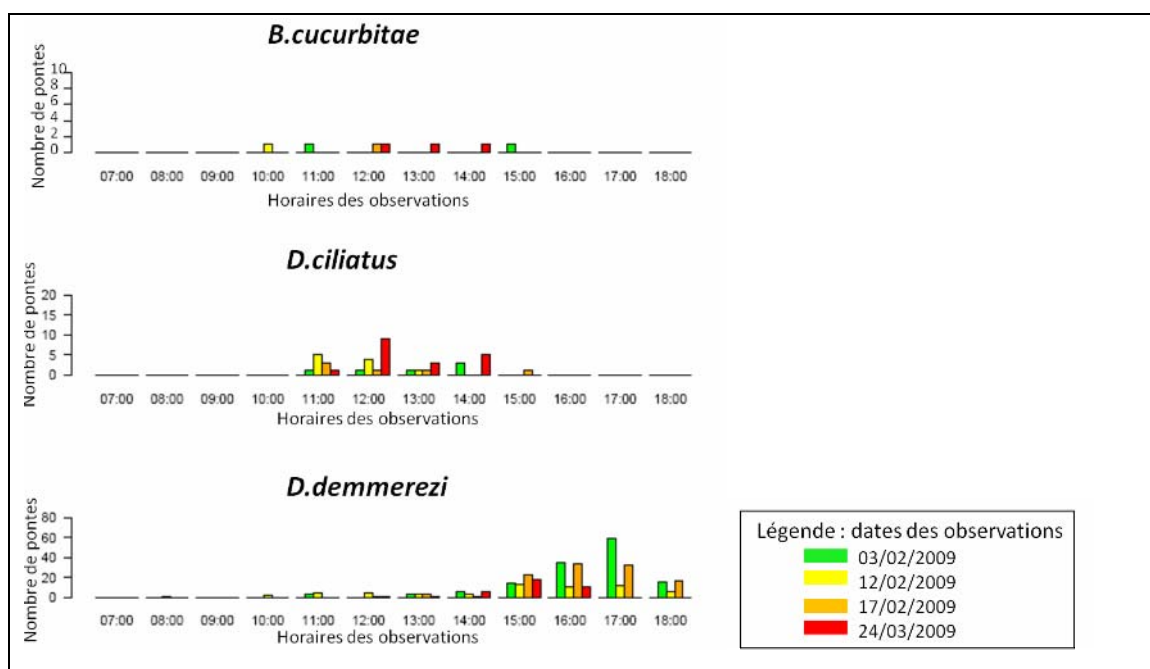
Les leks et les accouplements sont cantonnés aux bordures de maïs et aux heures d’observations les plus tardives (de 16h00 à 18h00) comme le montre la figure suivante :



**Figure 16 :** heures des accouplements et des leks observés lors de l'ensemble de la campagne d'échantillonnage à Piton Hyacinthe

#### b) Heures de pontes

La figure 17 présente le nombre de pontes recensé par heure, pour chaque espèce et chaque date d'observation.



**Figure 17 :** horaires des pontes lors de l'ensemble de la campagne d'échantillonnage à Piton Hyacinthe

On a constaté que les femelles étaient présentes dans la culture durant des tranches horaires spécifiques à chaque espèce. Ces périodes correspondent aux heures durant lesquelles le nombre de ponte est maximal. La fréquentation de la culture par les femelles peut donc être mise en relation avec une activité de ponte. En effet, un nombre important de pontes de *D. demmerezi* a été observé entre 15h00 et 17h00. Les pontes de *D. ciliatus* et de *B. cucurbitae* ont lieu plus tôt dans la journée et sont plus étalées dans le temps : elles s'échelonnent entre 10h00 et 15h00 et sont moins nombreuses que celles de *D. demmerezi*. Les pontes ont lieu principalement sur des fruits de type 1 qui correspondent à des ovaires non-fécondés (cf. Annexe XV).

*c) Activités nocturnes :*

La première observation nocturne réalisée le 27/02 a permis de distinguer le comportement nocturne des mouches des Cucurbitaceae du « repos » défini précédemment. En effet, lorsque la luminosité est faible, les mouches sommeillent. Les individus qui sommeillent ne réagissent à aucun stimulus visuel (mouvements proches ou stimuli lumineux) contrairement aux mouches qui se reposent lors de la journée.

D'autre part, les observations réalisées de 17h30 à 21h30, le 17/03, et de 4h30 à 7h30, le 18/03, ont permis de mettre en évidence le fait que de nombreux couples sommeillent ensemble durant la nuit. En effet, sur les neuf couples repérés le 17/03, trois étaient encore accouplés le lendemain, à 4h30. L'accouplement suit un « rituel » précis que cette observation nous a permis de décrire. Celui-ci se décompose en quatre étapes. La première correspond au lek : celui-ci correspond à un regroupement de plusieurs mâles dont une partie seulement est réellement en appel (ils sont repérables par leur abdomen relevé et un battement d'ailes rapide). La seconde étape est l'accouplement au sens strict entre un mâle et une femelle. Lors de cette phase, de nombreux mâles cherchent à rompre le couple (souvent plusieurs mâles s'agglutinent autour du couple). Ensuite, la durée de l'accouplement varie. Pour trois des neuf couples repérés le 17/03, l'accouplement a duré moins de 2h00 mais les six autres couples étaient unis à 21h30 le 17/03, dont trois ont été retrouvés à 4h30, le 18/03. La période nocturne durant laquelle mâles et femelles sont encore accouplés correspond à la troisième étape : l'accouplement est effectif mais ne correspond pas à un processus actif dans la mesure où les couples observés sommeillent. La 4<sup>ème</sup> étape débute aux premières lueurs du jour et correspond au réveil suivi de la séparation du couple.

*La répartition des populations de mouches des Cucurbitaceae au sein de l'agro-écosystème est en relation avec le rythme journalier des activités. Lors de la journée, la majorité du peuplement est au repos sur les bordures. Cependant, lors de tranches horaires spécifiques, les femelles occupent la culture pour pondre. La fin de journée est marquée par une dispersion des individus hors du système {culture + bordure} et des activités liées à la reproduction. Les couples formés à cette période restent souvent unis jusqu'au matin, où les mouches se séparent et se concentrent de nouveau autour de la culture de Cucurbitaceae*

### III) DISCUSSION

Durant les années 70, l'intensification des systèmes agraires a conduit à une érosion de la biodiversité au sein des paysages agricoles (Burel & Baudry, 1999). Or, la biodiversité est un facteur de stabilité des écosystèmes : plus celle-ci est importante au sein d'un écosystème, plus les relations interspécifiques sont nombreuses et rendent son fonctionnement moins sensible aux invasions ou aux extinctions (Lévêque & Mounolou, 2001). L'agro-écologie, à savoir l'étude des interactions entre plantes, animaux, hommes et environnement au sein des agro-écosystèmes (Dalgaard & al. 2003), considère l'incorporation de biodiversité au sein des agro-écosystèmes comme le principe fondateur de leur restauration (Nicholls & Altieri, 2004). En terme de gestion des populations de ravageurs, deux principes sont développées à savoir l'amélioration de la qualité biologique des sols et l'incorporation de biodiversité végétale (Altieri, 1999). La mise en place de plantes de bordure constitue une voie d'incorporation de biodiversité végétale au sein des systèmes maraîchers. On va donc discuter l'influence de l'incorporation de plantes-pièges en bordure en analysant les limites du protocole mis en œuvre puis en proposant des perspectives de recherche et de gestion.

#### **III-A) Bio-écologie des mouches des Cucurbitaceae au sein d'un agro-écosystème {culture de Cucurbitaceae + plantes-pièges}**

##### **III-A-1) La bordure de maïs : un lieu de séjour privilégié pour les mouches des Cucurbitaceae.**

Les observations réalisées en milieu naturel ont permis de mettre en évidence une répartition spatiale inégale des populations au sein des agro-écosystèmes étudiés. En effet, les comptages réalisés lors de différentes dates montrent que la majorité des effectifs de chaque population se trouve sur la bordure et non sur la culture de plantes-hôtes, qu'on s'intéresse

aux effectifs quotidiens ou aux effectifs horaires. Ces observations concordent avec les conclusions des travaux similaires à Hawaii (Nishida & Bess, 1957) réalisés au sein de cultures de tomates, de concombre et de melon bordées de différentes plantes-pièges. Ces auteurs mettent en évidence que la fréquentation de la culture par les adultes de *B. cucurbitae* est très faible. Les individus recensés dans la culture sont principalement des femelles gravides et des individus immatures émergeant des fruits-hôtes. De la même manière, on a pu constater, via l'analyse du sex-ratio, que les individus fréquentant les cultures sont en majorité des femelles.

### III-A-2) Mouvements et rythmes journaliers d'activités

Les effectifs recensés montrent une variabilité journalière importante pouvant s'expliquer par les mouvements effectués par les individus adultes à l'intérieur et à l'extérieur du système. Deux types de mouvements peuvent être identifiés à partir des comptages horaires réalisés et mis en relation avec un rythme journalier des activités.

Le premier correspond, aux mouvements entre l'extérieur et l'intérieur du système {culture + bordure}. Les effectifs des différentes populations marquent le plus souvent une hausse durant les premières heures de la journée et diminuent le soir. Ceci signifie que le peuplement de mouches des Cucurbitaceae ne se concentre dans le système étudié uniquement lors de journée, et qu'il se disperse à l'extérieur en soirée. Ces mouvements concernent les femelles comme les mâles, comme l'attestent les sex-ratios équilibrés des populations sur les bordures. A l'inverse, le second mouvement journalier identifié ne concerne que les femelles. Ces dernières effectuent des mouvements journaliers entre les abords et la culture de Cucurbitaceae. L'étude des comportements montre que la fréquentation de la culture est liée à une activité de ponte. Les heures de pontes sont une caractéristique de chaque espèce : la tranche horaire durant laquelle les femelles de *D. demmerezi* pondent est très brève et a lieu en fin d'après-midi alors que les effectifs de *B. cucurbitae* et *D. ciliatus* femelles augmentent dans de moindres proportions au sein de la culture en début de matinée et ne diminuent qu'en fin d'après midi. Ces résultats concernant la spécificité des heures de ponte viennent confirmer les résultats préliminaires obtenus dans un système similaire l'année passée (Atiama, 2008). Si la concentration des femelles au sein de l'agro-écosystème et plus particulièrement au sein de la culture est explicable par un rythme journalier de ponte, il n'en est pas de même pour les mâles. Deux hypothèses pourraient expliquer leur concentration journalière au sein des bordures de l'agro-écosystème : (1) les plants de maïs constitueraient une source d'alimentation pour les mâles (Mc Quate & al., 2003)

(2) Les mâles accompagnent les femelles près des Cucurbitaceae, en préparation des activités sexuelles qui ont lieu selon un rythme journalier : les leks suivis des accouplements ont lieu en fin de journée et sont déclenchés par une baisse de l'intensité lumineuse et dans une moindre mesure par une baisse de la température (Smith, 1982).

La première hypothèse n'est pas vérifiable à partir de nos seules observations dans la mesure où nous n'avons recensé que très peu de comportements alimentaires. De la même manière, peu d'activités sexuelles ont été observées sur les bordures. De plus, les observations nocturnes montrent que les accouplements qui peuvent durer toute la nuit n'ont pas lieu nécessairement sur la bordure de maïs mais également sur des arbustes plus éloignés de la culture de Cucurbitaceae. On peut néanmoins supposer que la compétition entre les mâles pour la reproduction pousse ces derniers à rester proches des femelles qu'elle que soit l'heure de la journée. Leur présence sur les bordures serait donc indirectement liée aux rythmes journaliers de ponte expliquant le mouvement des femelles.

### III-A-3) Attractivité de la bordure de maïs

L'attractivité des végétaux vis-à-vis des Tephritidae se manifeste de différentes manières. Les composés sémio-chimiques olfactifs sont des composés chimiques volatiles qui modifient le comportement des Tephritidae par leur nature attractives ou répulsives (Light & Jang, 1996). Produits par les plantes, ils interviennent dans la recherche de la plante-hôte et dans la recherche de nourriture. La localisation de la plante-hôte met également en jeu des stimuli visuels (Prokopy, 1986 ; Vayssières, 1999). Il semble que l'attractivité de l'ensemble du système {culture de Cucurbitaceae + bordures de maïs} soit d'abord liée au rythme journalier de ponte et donc à l'attractivité visuelle et olfactive des plantes-hôtes et en particulier des fruits : à Piton Hyacinthe, l'effectif quotidien du peuplement est minimum en l'absence de fruits dans la culture. Cependant, on a pu voir qu'à l'intérieur du système, les mouches préfèrent les bordures de maïs comme lieu de séjour lors de la journée. Cette espèce a indubitablement une attractivité marquée et peut être qualifiée de plante-piège. Toutefois, identifier précisément les critères d'attractivité des plantes-pièges vis-à-vis des mouches des Cucurbitaceae est un exercice difficile. L'activité principale des populations de *B. cucurbitae*, de *D. ciliatus* et de *D. demmerezi* sur la bordure de maïs est le repos. Celui-ci a lieu principalement sur la strate médiane et la face externe des feuilles de maïs. L'intérêt des mouches des Cucurbitaceae pour le maïs pourrait être en premier lieu dû à l'abri qu'il représente. En effet, les premiers millimètres à la surface de la feuille présentent une température et un degré d'humidité plus bas que l'air ambiant, en particulier, la face externe



des feuilles (Meat, 1989). D'autre part, bien que peu de mouches en alimentation sur le maïs aient été recensées, il semble que cette plante représente une source alimentaire pour les mouches des Cucurbitaceae. Des études menées en laboratoire montrent que la consommation combinée de nectar et de pollen de maïs augmente le taux de survie de *B. cucurbitae* et pourrait également augmenter la fécondité et déclencher l'oviposition (Mac Quate & al., 2003). Pour finir, plusieurs éléments invitent à relativiser l'attractivité du maïs. Tout d'abord, ces bordures ne constituent pas un site de sommeil pour les mouches des Cucurbitaceae (son rôle d'abri n'est effectif que lors de la journée). Ensuite, à Tan Rouge, les comptages effectués sur des bordures de jacquiers montrent que les mouches des Cucurbitaceae peuvent fréquenter une large gamme de végétaux non-hôtes. Le maïs n'est pas la seule espèce utilisable en tant que plante-piège comme le confirment les expérimentations hawaïennes qui ont révélé une attractivité comparable à celle du maïs pour plusieurs végétaux tels que le ricin (*Ricinus communis*) ou le manioc (*Manihot esculenta*) (Mac Quate & Vargas, 2007).

### **III-B) Aspects méthodologiques, portée et limites des résultats**

#### **IV-B-1) Extension des résultats à d'autres cultures et à d'autres espèces de Tephritidae.**

Les expériences hawaïennes et réunionnaises montrent que les caractéristiques de la bio-écologie des mouches des Cucurbitaceae sont généralisables à l'ensemble des agro-écosystèmes composés de bordure de plantes-pièges et de cultures de Cucurbitaceae au sol. Cependant, des recherches concernant la culture de la christophine (*Sechium edule*, Swartz, 1800), autre Cucurbitaceae importante culturellement à La Réunion, révèle bien les limites de ces conclusions (Gilles, 2008 ; François, 2009). Ce légume appelé « chouchou », à La Réunion, est cultivé sous treille et les observations réalisées dans des systèmes {culture sous treille de chouchou + bordure} montrent que les mouches se concentrent dans la culture sous la treille, contrairement à ce que l'on a observé au sein de systèmes de culture au sol de courgettes, de concombre ou de citrouille. Cela pourrait s'expliquer par les conditions de température et d'humidité qui règnent sous la treille. L'importance des bordures en terme de site de repos serait particulièrement liées aux conditions microclimatiques qui règnent dans la bordure et donc à sa qualité d'abri. Celle-ci ne serait généralisable que dans la mesure où la culture de plantes-hôtes n'offre pas ces conditions favorables.

D'autre part, il faut s'interroger sur la généralisation de ces conclusions aux huit espèces de Tephritidae présentes à La Réunion. Chez la mouche de la tomate inféodée au Solanaceae, *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi, 1923), des mouvements journaliers similaires ont été décrits (Brevault & Quilici, 2000). Mais, bien que l'existence d'un rythme journalier des activités

soit une caractéristique commune à l'ensemble des Tephritidae (Smith, 1982), aucun mouvement journalier entre la bordure et la culture de fruits n'a été signalé chez *Bactrocera zonata* (Saunders), *Ceratitis capitata* (Wiedeman), *Ceratitis rosa* (Karsch), *Ceratitis catoirii* (Guerin-Meneville), autres Tephritidae présentes à La Réunion. Pour ces quatre espèces qui pondent dans une large gamme de fruits, il semble que les plantes-hôtes jouent également le rôle de plante-refuge (comme le chou chou cultivé sur treille).

#### IV-B-2) Biais et propositions d'amélioration du protocole :

Les biais concernent principalement l'analyse des facteurs pouvant moduler l'importance de la bordure. En premier lieu, la comparaison entre les deux systèmes {culture de citrouille + bordure mixte} à Tan Rouge et {culture de courgette + bordure de maïs} est peu informative. Les différences entre ces deux parcelles (leur taille, la densité de la bordure, la culture, l'environnement floral, l'altitude, les conditions climatiques) sont trop nombreuses pour identifier l'effet d'un seul de ces facteurs. Il aurait été plus rigoureux de ne faire varier qu'un seul paramètre à la fois pour identifier leur effet sur l'effectif du peuplement, sa répartition spatiale ou son sex-ratio. En particulier, il aurait été intéressant de comparer les mouvements journaliers des mouches des Cucurbitaceae au sein de deux parcelles similaires, l'une totalement dépourvue de bordure (témoin) et l'autre bordée de maïs. On aurait ainsi pu mettre en évidence les modifications dans la répartition spatiale des mouches qu'entraîne l'incorporation d'une bordure de maïs.

D'autre part, on a cherché à comparer les observations réalisées à différentes dates sur un même site avec pour objectif de mettre en évidence ou non une variation de l'effet de la bordure de maïs sur le peuplement de mouches des Cucurbitaceae. Le seul facteur clairement identifié est la présence de fruits dans la culture. Bien que les mouches soient présentes sur la bordure de maïs même en l'absence de fruits dans la culture, la proportion de femelles est moins importante et ces dernières fréquentent moins la culture. Mais d'autres facteurs et en particulier le facteur climatique permettrait d'expliquer plus précisément les variations des effectifs au cours de la campagne d'échantillonnage. Les stations météorologiques étaient trop éloignées des parcelles expérimentales pour fournir des données cohérentes mais à l'avenir l'utilisation d'un capteur extérieur permettrait de relever des données précises (et notamment des données horaires). Plus simplement, l'évolution de la bordure de maïs gagnerait à être décrite plus précisément en notant les périodes de floraison. Le pollen du maïs étant cité comme nourriture potentielle des mouches des Cucurbitaceae (Mac Quate & al., 2003), l'attractivité de la bordure pourrait être accrue lors de la floraison.

### **III-C) Perspectives de gestion et de recherche**

#### **III-C-1) Intégration des résultats au projet GAMOUR**

Le projet GAMOUR a pour objectif de développer un ensemble de techniques de gestion agro-écologique des mouches des Cucurbitaceae au sein des systèmes maraîchers réunionnais (cf. Annexe XVI). Les résultats produits ici concernant l'influence de l'incorporation des plantes de bordure sur la bio-écologie des mouches des Cucurbitaceae permettent d'améliorer certains points de ce paquet technique. Tout d'abord, on constate que les mouches des Cucurbitaceae fréquentent la bordure de maïs même en l'absence de fruit dans la culture. La bordure s'avère donc un site de surveillance permettant de repérer la présence des mouches plus tôt que dans la culture, ce qui pourrait permettre d'anticiper des dégâts ultérieurs. Ensuite, les plantes de bordure constituent un des éléments du Push-Pull assisté : en concentrant le peuplement de mouches des Cucurbitaceae sur la bordure constituée de plantes-pièges, les dispositifs destinés à éliminer ce peuplement par la suite peuvent être optimisés (Pyke & al., 1987). Dans cette optique, le projet GAMOUR prévoit l'utilisation d'un insecticide produit par une bactérie, le Spinosad, couplé à un attractif alimentaire, en pulvérisation par patch sur les bordures. Cette technique, en expérimentation à La Réunion, a déjà montré son efficacité à Hawaï, sur la mouche du melon (Prokopy & al., 2003). Outre son rôle attractif pour les mouches des Cucurbitaceae, la bordure pourrait constituer un lieu de séjour pour les parasitoïdes et les prédateurs des mouches des Cucurbitaceae (Langer & al., 2007)

#### **III-C-2) Perspectives de recherches**

Certaines questions nécessitent d'être approfondies pour une utilisation efficace des plantes de bordure. Tout d'abord, il s'agit de savoir comment les modalités d'incorporation des plantes-pièges en bordure, entre autre leur densité, modifient leur attractivité. Ensuite, il conviendrait de s'intéresser à la composition et à la structure du paysage à plus grande échelle. Chaque soir, les mouches des Cucurbitaceae se dispersent hors des cultures, on pourrait donc s'intéresser à l'échelle de dispersion du peuplement hors des cultures et aux éléments du paysage qui influencent la répartition du peuplement. La structure du paysage a déjà été identifiée comme un facteur modifiant les mouvements de *Rhagoletis indifferens*, autre Tephritidae (Senger & al., 2009). Pour finir, comprendre l'impact des plantes de bordures sur d'autres communautés d'insectes, telles que les parasitoïdes, les prédateurs, ou les pollinisateurs serait un préalable nécessaire à l'utilisation d'insecticide sur les bordures.

## CONCLUSION

Depuis plusieurs années, les mouches des Cucurbitaceae font l'objet de nombreuses recherches à La Réunion (Vayssières, 1999) avec comme objectif la mise en place du projet de gestion agro-écologique des mouches des légumes à La Réunion. Le maïs a montré sa qualité de plante-piège vis-à-vis des trois espèces de mouches des Cucurbitaceae présentes à La Réunion (Atiama, 2008). On a donc cherché à décrire l'influence de l'incorporation de maïs en bordure de différentes cultures de Cucurbitaceae sur la bio-écologie des mouches des Cucurbitaceae.

Les expérimentations au sein de systèmes {culture de Cucurbitaceae + bordure de maïs} ont montré que les populations d'adultes de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus* et *D. demmerezi* fréquentent préférentiellement les bordures de maïs. La quasi-totalité des individus y ont des activités apparentées au repos, c'est pourquoi l'attractivité du maïs est surtout liée à l'abri qu'il procure en terme de température et d'humidité, lors de la journée. La culture n'est fréquentée que par les femelles qui effectuent des mouvements journaliers pour aller pondre dans les Cucurbitaceae, ceci durant des tranches horaires caractéristiques de chaque espèce. Enfin, nos observations nocturnes montrent que la fin de la journée se clôture par une dispersion des populations hors des agro-écosystèmes étudiés. C'est également lors du crépuscule qu'ont lieu les activités sexuelles, à savoir les leks et les accouplements. Les couples formés alors peuvent sommeiller ensemble durant plusieurs heures et parfois jusqu'à l'aube, heure à laquelle ils se réveillent puis se concentrent à nouveau sur les bordures de maïs. Cette attractivité des bordures varie au cours du temps : lorsque les fruits ne sont pas encore formés dans la culture, les femelles sont moins attirées par l'ensemble du système.

Les bordures de maïs constituent donc des sites de surveillance et de gestion privilégiés des populations de ravageurs, notamment par la mise en place de pièges sur les bordures ou par pulvérisation d'insecticide biologique par tâche. Certains points concernant les modalités d'incorporation de la bordure nécessitent d'être précisés : l'attractivité de la bordure pourrait varier en fonction de sa densité. D'autre part, les études réunionnaises n'ont pas permis de confirmer que le pollen et le nectar de maïs constituent une source alimentaire pour les *Dacini* comme le prétendent les études hawaïennes (Mac Quate & al., 2003). Enfin, la dispersion du peuplement autour des cultures et le rayon d'attractivité du maïs vis-à-vis des mouches des Cucurbitaceae mais également vis-à-vis d'autres peuplements d'insectes tels que les prédateurs et les parasitoïdes des *Dacini*, ou encore les pollinisateurs permettraient de compléter les connaissances nécessaires à la mise en place de mesures de gestion.

## BIBLIOGRAPHIE

**Agreste, 2009.** Mémento statistiques agricoles (La Réunion, résultats 2008). Direction de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion

**Altieri M.A., 1999.** The ecological role of the biodiversity in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environnement*, **74** : 19-31 pp.

**Atiama T, 2008.** Interactions entre les mouches des Cucurbitaceae et les plantes de bordures dans les systèmes horticoles à La Réunion. Mémoire de fin d'études. Université de La Réunion/CIRAD. 28 p.

**Brevault T., Quilici S., 2000.** Dial patterns of reproductive activities in the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Physiological Entomology*, **25** : 233-241 pp

**Burel F., Baudry J.1999.** Ecologie du paysage : concepts, méthodes et application. Ed. Tec & Doc, Paris. 360 p.

**Cook S.M., Khan Z.R., Pickett J.A., 2007.** The use of Push-Pull in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology*, **52** : 375-400 pp.

**DALGAARD T., HUTCHINGS N.J., PORTER J.R., 2003.** Agroecology, scaling and interdisciplinary. *Agriculture Ecosystems and Environment* 100, 39-51 pp

**Deguine J.P., Ferron P., Russell D., 2008.** Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie, concepts et pratiques, application au cotonnier. Editions QUAE, Versailles. 187 p.

**Delvare G., Aberlenc H.P., 1989.** Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale, Clés pour la reconnaissance des familles. PRIFAS CIRAD Dépt. GERDAT, Montpellier. 302 p.

**Dhillon M.K., Singh R., Naresh J.S., Sharma H.C., 2005.** The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae* : a review of its biology and management. *Journal of Insect Science*, **5** : 16 p.

**Etienne J., 1974.** Lutte biologique contre les mouches des fruits. *Rapport annuel IRAT-Réunion* : 93-117

**Etienne J., 1982.** Etude systématique, faunistique et écologique des Tephritidae à La Réunion. Thèse de doctorat. Ecole Pratique Hautes Etudes, Paris, 100 p.

**François T., 2009.** Bio-écologie et dégâts des mouches des légumes (Diptera : Tephritidae) en culture de choucho (*Sechium edule*) à La Réunion. Mémoire de fin d'études : Université de la Réunion/CIRAD. 30p.

**Gilles B., 2008.** Bio-écologie et dégâts des mouches des légumes (Diptera, Tephritidae) en culture de choucho (*Sechium edule*) à La Réunion. Mémoire de fin d'études : Université de Tours/ CIRAD 43p.

**Jeffrey C., 1990.** Systematics of the Cucurbitaceae : an overview. *Bates D.M., Robinson R.W & Jeffrey C. (eds.). Biology and utilisation of the Cucurbitaceae.* Cornell University Press, Ithaca, New York. 3-9 pp.

**Langer V, Kiname J., Lyngkjaer M., 2007.** Intercropping for pest management: the ecological concept. *Ecologically based integrated pest management*, **5** : 74-110 pp.

**Lévêque C., Mounoulou J.C., 2001.** Biodiversité, dynamique biologique et conservation, DUNOD, Paris. 248 p.

**Light D.M., Jang E.B., 1996.** Plant volatiles evoke and modulate tephritid behavior. Economic fruit flies : a world assessment of their biology and management. *Proceeding of the fourth international Symposium on fruit flies of economic importance*, Sand Key, Florida McPherson B. & Steck G eds., St. Lucie Press, Delray Beach, Florida. 123-133 pp.

**Mac Quate G.T., Gretchen D.J., Chairmaine D.S., 2003.** Assessment of Corn Pollen as a food source for two Tephritid fruit fly species. *Environnemental Entomology*, **32** : 141-150 pp.

**Mac Quate G.T., Vargas R.I., 2007.** Assessment of attractiveness of plants as roosting sites for the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, and oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Insect Science*, **7**, Art. 57, 13 p.

**Nicholls C.I., Altieri M.A., 2004.** Agroecological bases of ecological engineering for pest management. *Ecological Engineering for Pest Management. Advances in habitat manipulation for arthropods*. Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA eds. CSIRO, Collingwood (Australia). CABI, Walingford (UK), 33-54 pp.

**Nishida T., Bess H.A., 1957.** Studies on the ecology and control of the melon fly, *Dacus (Strumeta) cucurbitae* Coquillett (Diptera : Tephritidae). *Hawaii Experiment Station, Technical Bulletin*, **24** : 43p.

**Nishida T., 1958.** Extrafloral glandular secretions, a food source for certain insects. *Proceeding, Hawaiian Entomological Society*, **3** : 379-386 pp.

**Orian A.J.E., Moutia L.A., 1960.** Fruit flies (Tephritidae) of economic importance in Mauritius. *Revue Agricole et Sucrière de l'île Maurice*. **39** : 142-150 pp.

**Prokopy R.J., 1986.** Visual and olfactory stimulus interaction in resource finding by insects. *Mechanisms in Insect olfaction*. T.L. Payne, M.C. Birch & C.E.J. Kennedy eds. Oxford university press. Oxford. 81-90 pp.

**Pyke B., Rice M., Sabine B., Zalucki M.P., 1987.** The push-pull strategy-behavioral control of Heliothis. *Australian Cotton Grower*, 7-79 pp.

**Quilici S., Jeuffrault E., 2001.** Plantes-hôtes des mouches des fruits : Maurice, Réunion, Seychelles. Texte : E. Blanchard, F. Lustenberger et S. Dupuis ; photos : A. Franck. Publ. PRMF / COI, Imp. Graphica, La Réunion, 227 p.

**Roessler Y., 1989.** Insecticidal Bait and cover sprays. *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Robinson A.S and Hopper G eds., Elsevier, Amsterdam. 329-336 pp.

**Senger S.E., Tyson R., Roitberg B.D., Thistlewood H.M.A., Harestad A.S., Chandler T., 2009.** Influence of habitat structure and resources availability on the movement of *Rhagoletis indifferens* (Diptera : Tephritidae). *Environnemental Entomology*, **38** : 823-835 pp.

**Smith D.C., Prokopy R.J, 1982.** Mating behavior of *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae) flies in nature [Blueberry maggot fly, Massachusetts]. *Annals of the Entomological Society of America*, **75** : 388-392 pp

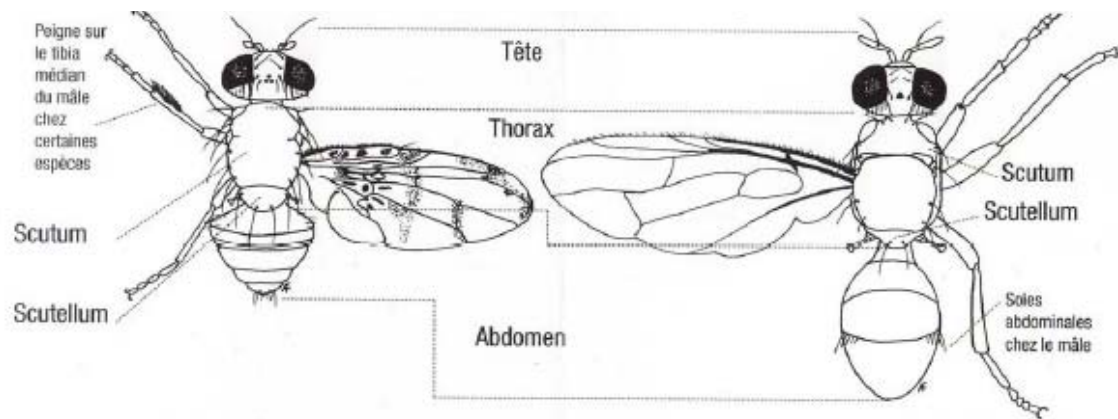
**Vayssières J.F., 1999.** Les relations insectes-plantes chez les Dacini (Diptera : Tephritidae), ravageurs des Cucurbitaceae à La Réunion. Thèse de doctorat. Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. 205 p.

**White I.E., Elson-Harris M.M., 1992.** Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. CAB. International, Wallingford, 601p.

# ANNEXES

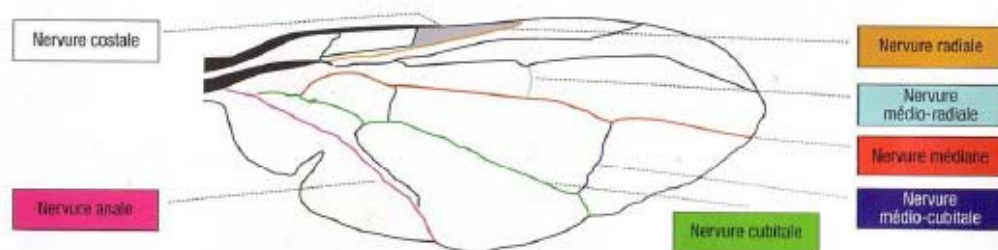


# **ANNEXE I : Éléments de morphologie des Tephritidae (Quilici & Jeffrault, 2001)**



*Sous-famille des Ceratitinae*

*Sous-famille des Dacinae*



*Schéma général de la nervation d'une aile de Tephritidae*

## ANNEXE II : Clé pratique de reconnaissance de quelques Tephritidae nuisibles à la Réunion (Quilici & Jeffrault, 2001)



# **ANNEXE III : Durée des différents stades du cycle de vie des mouches des Cucurbitaceae à différentes températures**

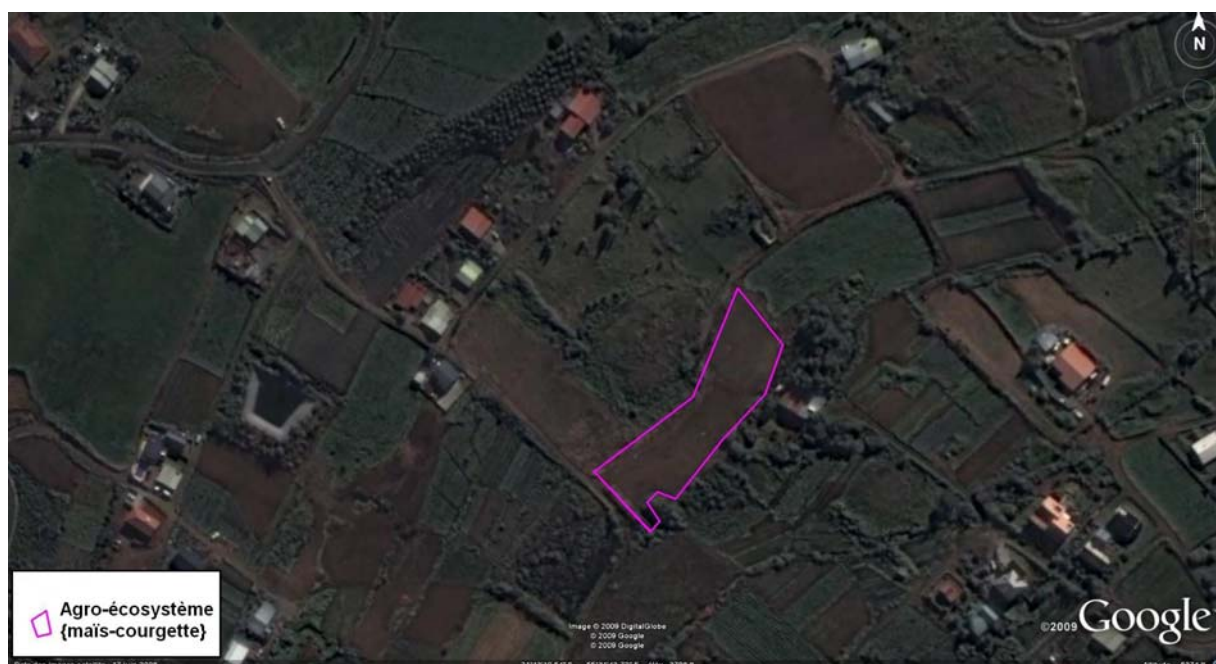
<i>Espèces de Dacini</i>	Durée des stades pré-imaginaux (en jours)				Préoviposition (en jours)	Références
	Conditions	Incubation des œufs	Vie larvaire	Pupaison		
<i>B.cucurbitae</i>	24±1°C RH: 60 ± 5%	1,3	6,6	10,2	06 à 10	(Vargas <i>et al</i> , 1996)
<i>D.ciliatus</i>	18°C	4 à 5	15 à 17	14 à 17	–	(Orlan et Moutia, 1960)
	23°C	2 à 3	4 à 6	7 à 9	–	
<i>D.demmerezi</i>	18°C	3 à 4	15 à 18	16 à 18	–	(Orlan et Moutia, 1960)
	23°C	2 à 3	5 à 6	8 à 11	–	



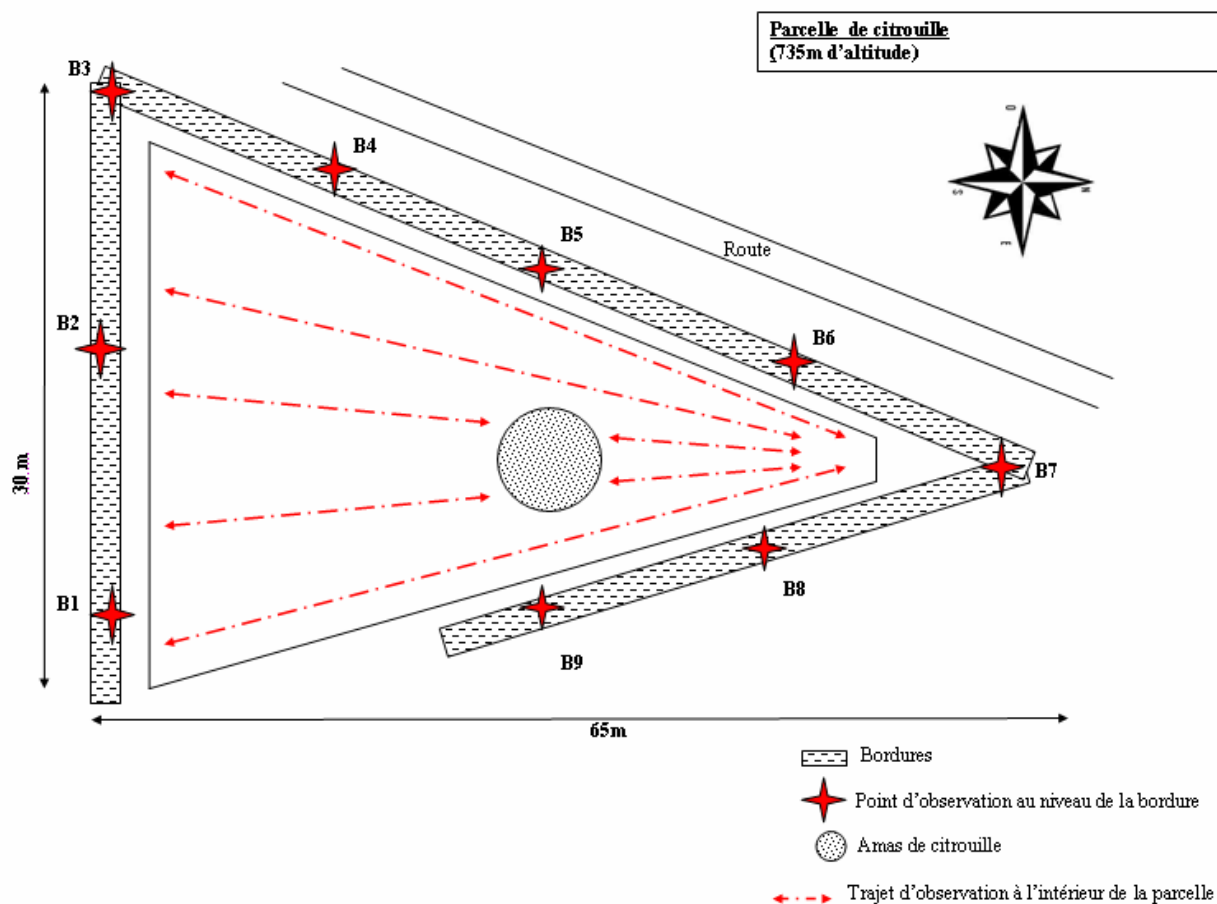
## Site de Piton Hyacinthe



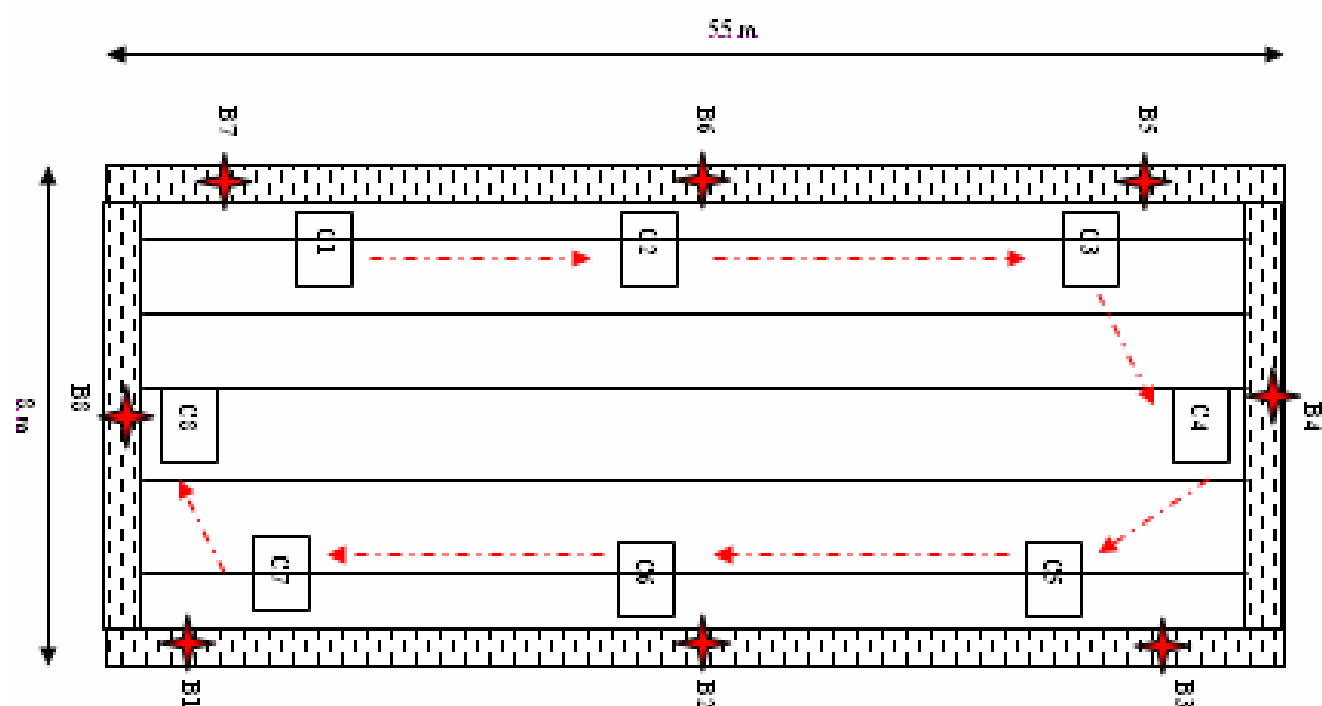
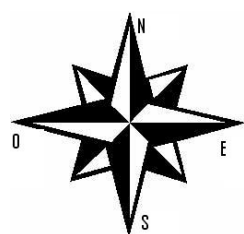
Parcelle de courgette  
1150 m d'altitude



## ANNEXE VI : Schéma de la parcelle expérimentale de citrouille à Tan Rouge et vue aérienne du site



## ANNEXE VII : Schéma de la parcelle de concombre à Tan Rouge



Bordures



Point d'observation sur bordures

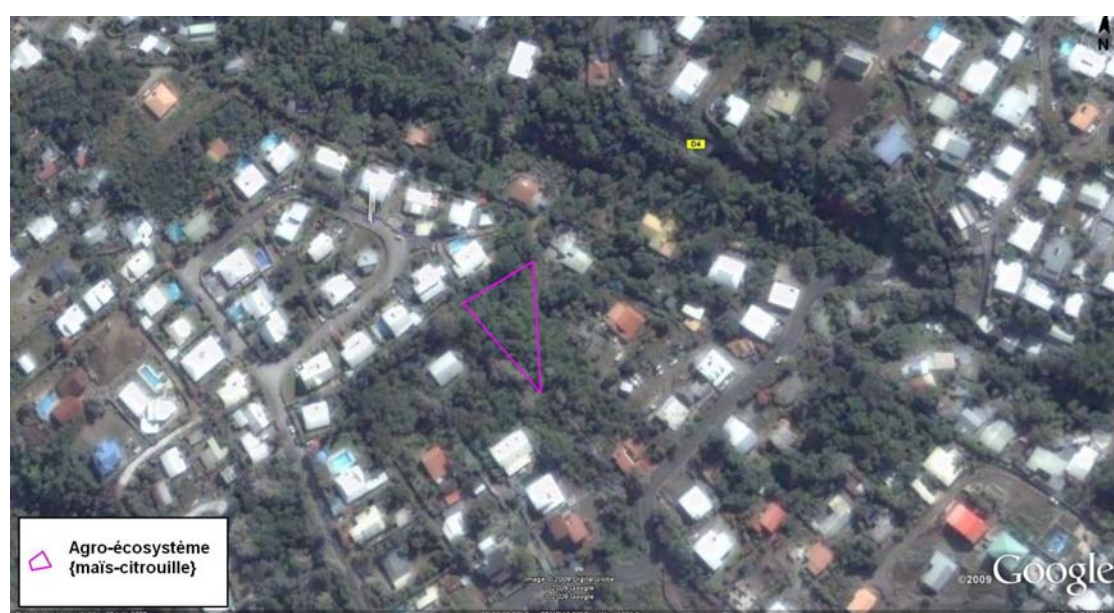
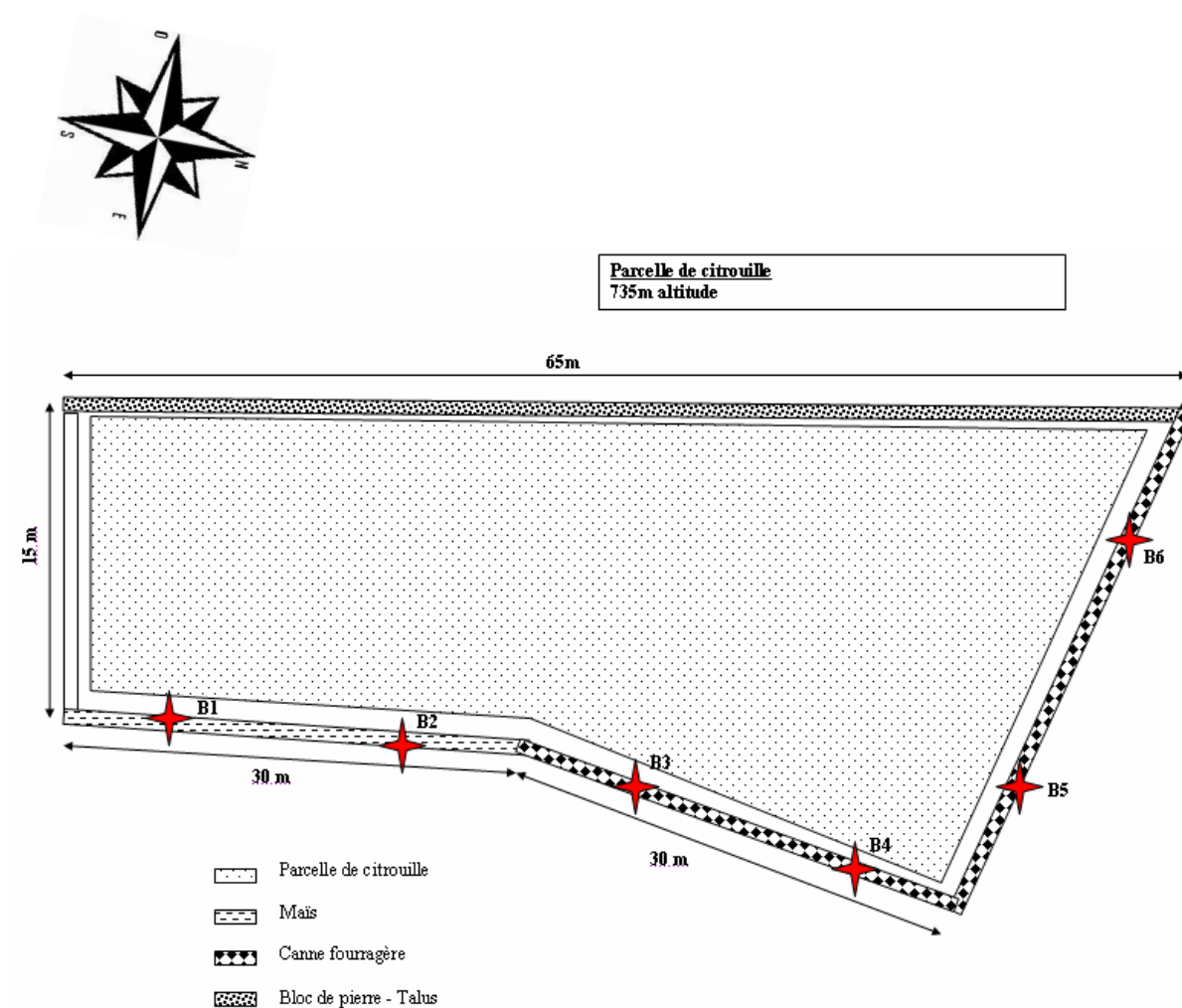


Point d'observation



Sens de déplacement

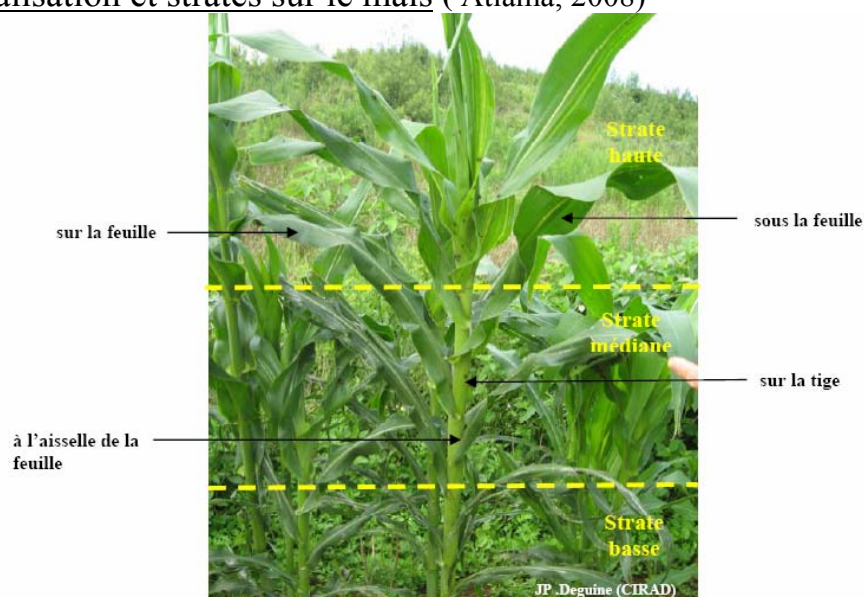
## ANNEXE VIII : Schéma de la parcelle expérimentale du Bois des Nèfles et vue aérienne du site





## ANNEXE IX : illustrations des quelques caractéristiques attenantes aux variables qualitatives.

### ➤ Localisation et strates sur le maïs ( Atiama, 2008)



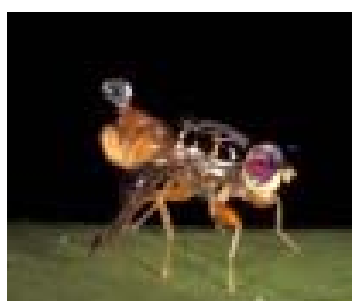
### ➤ Quelques activités :



**Figure a** : Dacini au repos sous une feuille de maïs  
(Photo. : T. François, CIRAD)



**Figure b** : *B. cucurbitae* en alimentation  
(Photo. : G. Mc Quate, USDA-ARS Hawaii)



**Figure c** : mouche en lek  
(Photo : D.Vincenot, CIRAD)

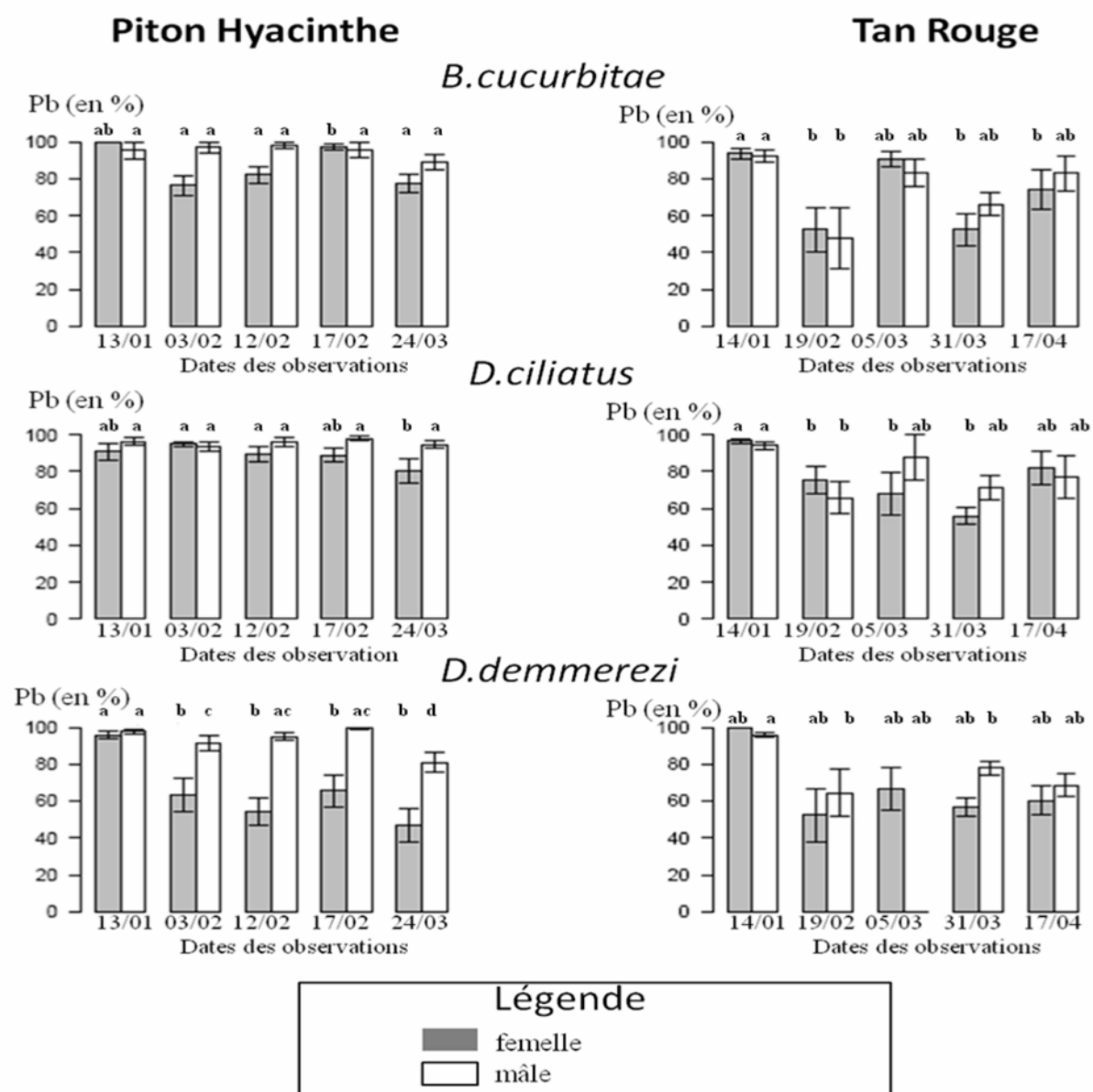


**Figure d** : accouplement de *D. demmerezi*  
(Photo : T. François, CIRAD)



**Figure e** : *D. ciliatus* en ponte  
(Photo. : A Franck, CIRAD)

# **ANNEXE X : Proportion horaire moyenne d'individus de la population sur la bordure, par date et par sexe \*.**



\* Proportion horaire moyenne sur la bordure de *B. cucurbitae*, *D. ciliatus*, et *D. demmerezzi* par date d'observation et par sexe. Les effets des facteurs « Date » et « Sexe » sont testés par une ANOVA (test du Chi2) suivi d'un test de Tukey comparant les Pb deux à deux ; a, b, c = ensembles de valeurs Pb statistiquement distincts, ensemble du type « ab » ou « ac » = ensemble de valeurs de non-distinctes du groupe a et b (pour le groupe ab) ou non-distincts des groupes a et c (pour le groupe ac)

# ANNEXE XI : Effectifs recensés dans les systèmes {concombre + maïs} à Tan Rouge et {citrouille + maïs} au bois des Nèfles

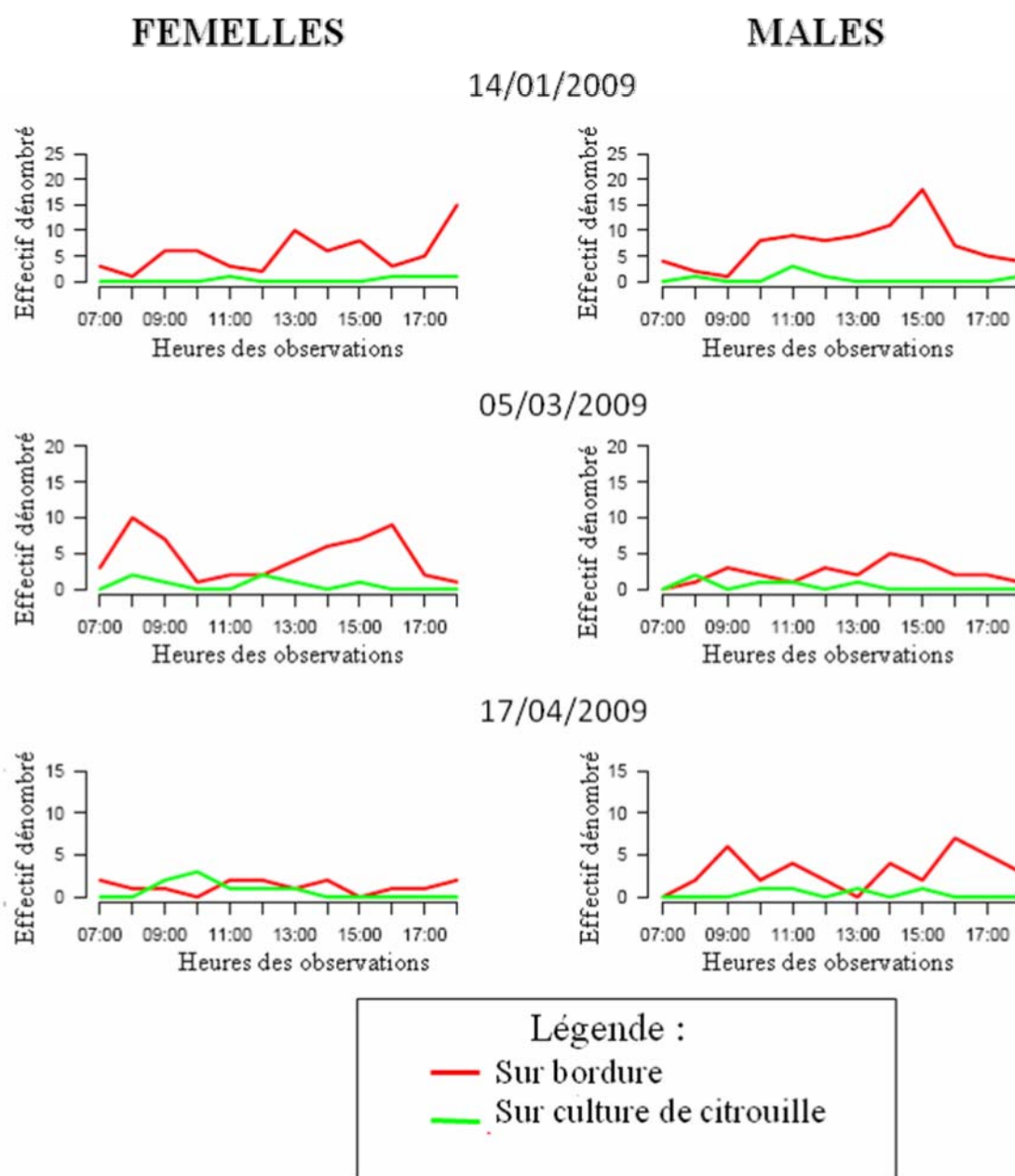
**Tableau a** : Effectifs des trois populations au sein du système {concombre + bordure de maïs} à Tan Rouge

		<i>B.cucurbitae</i>		<i>D.ciliatus</i>		<i>D.demmerezi</i>	
		Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles
14/01/2009	Sur bordure	0	0	2	0	1	1
	Sur culture	0	0	0	0	0	0
05/02/2009	Sur bordure	34	15	41	23	27	4
	Sur culture	1	0	1	0	0	0

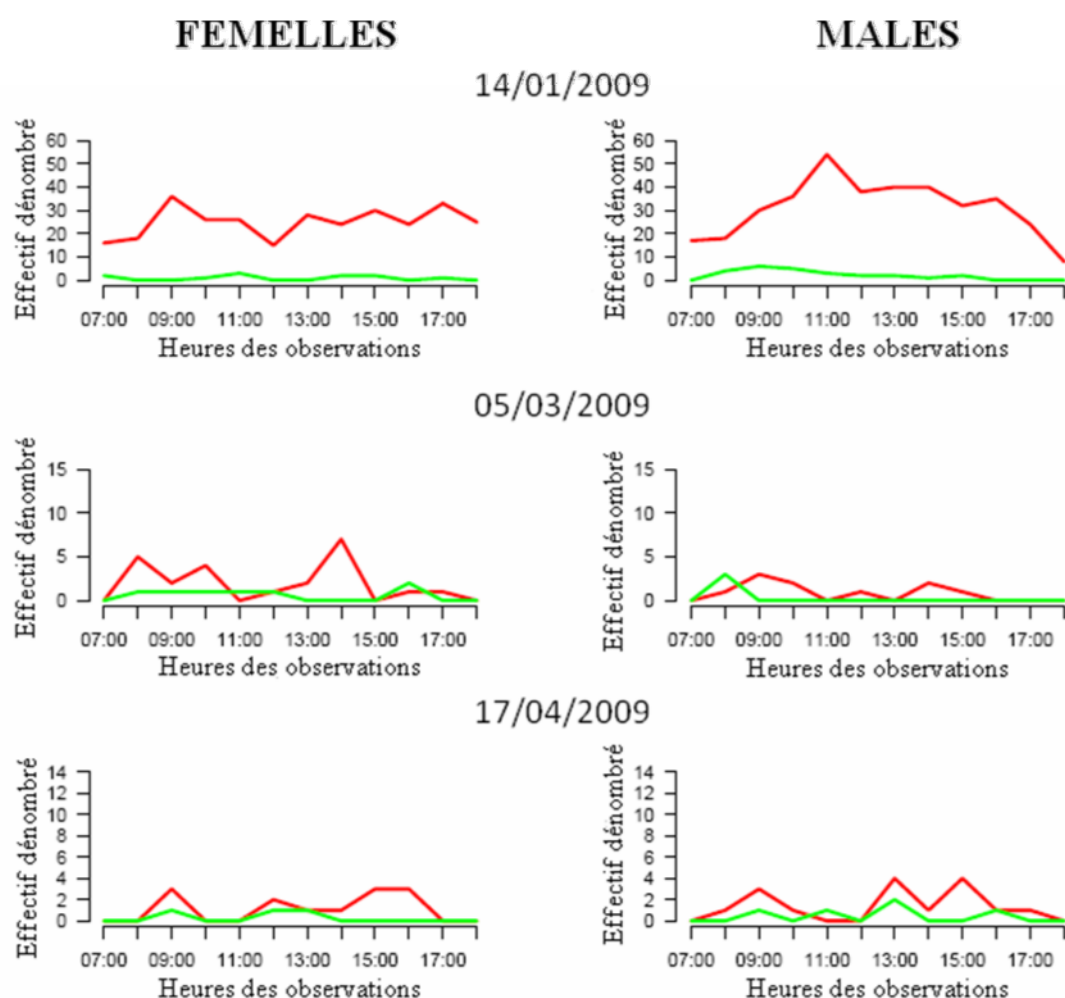
**Tableau b** : Effectifs des trois populations au sein du système {citrouille + bordure de maïs} au Bois des Nèfles

		<i>B.cucurbitae</i>		<i>D.ciliatus</i>		<i>D.demmerezi</i>	
		Femelles	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles
17/03/2009	Sur bordure	14	13	5	0	0	0
	Sur culture	10	0	1	0	0	0

**ANNEXE XII : Evolution journalière des effectifs des populations de *B. cucurbitae* à Tan Rouge au sein du système {citrouille + bordure mixte}**

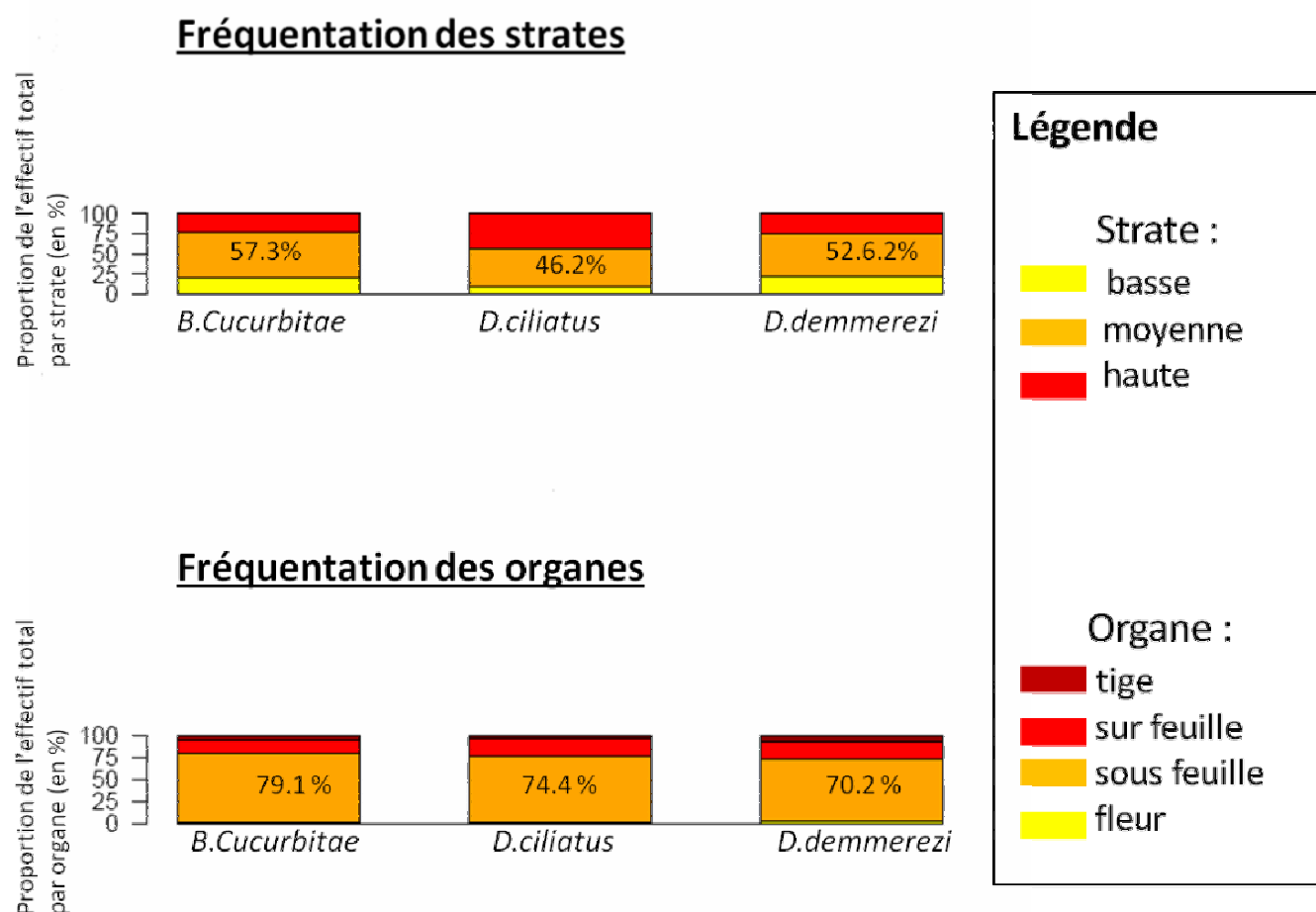


# **ANNEXE XIII : Evolution journalière des effectifs des populations de *D. ciliatus* à Tan Rouge au sein du système {citrouille + bordure mixte}**



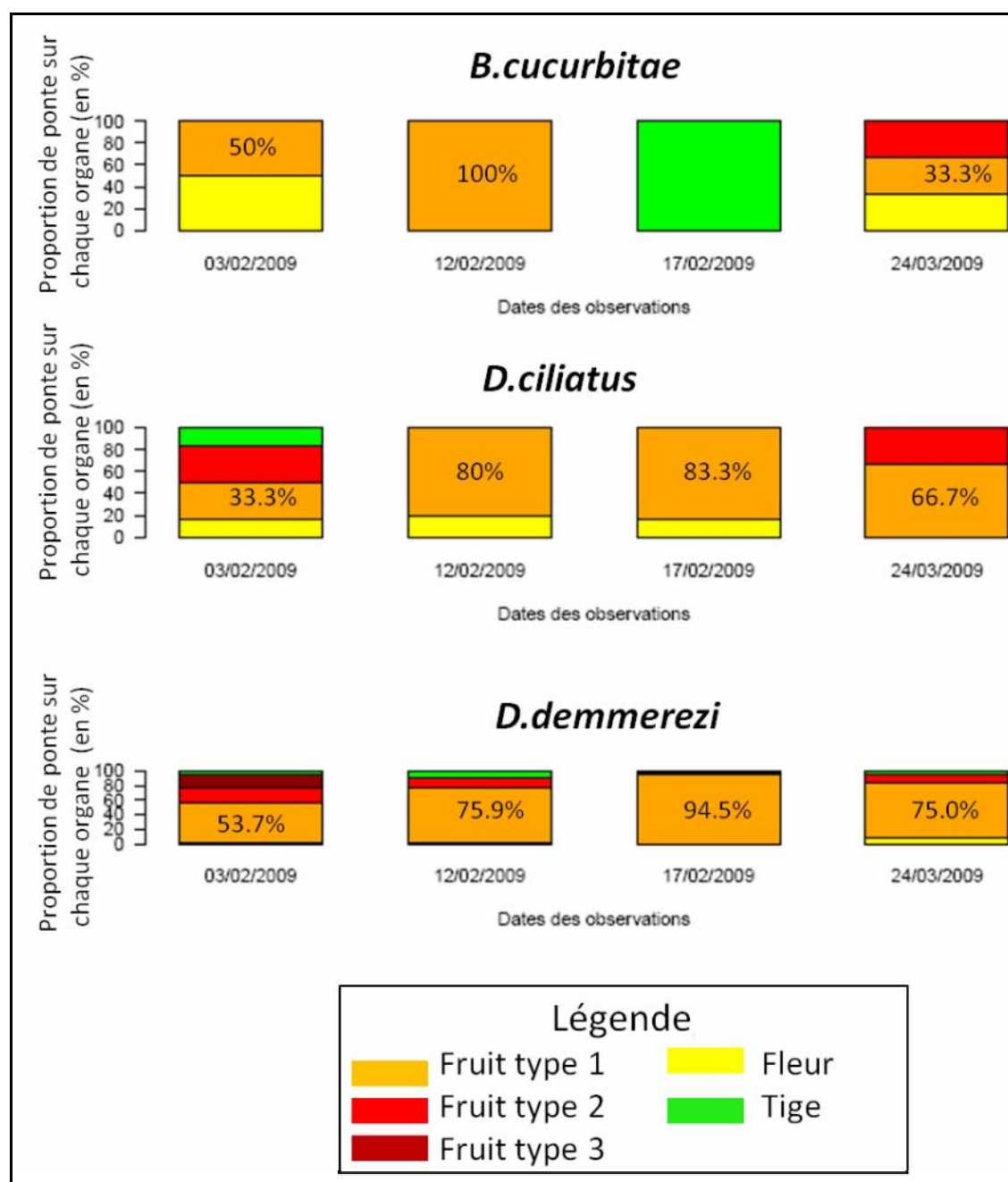
**Légende :**  
— Sur bordure  
— Sur culture de citrouille

## ANNEXE XIV : Fréquentation relatives des différentes strates et des différents organes des plants de maïs lors du repos, à Piton Hyacinthe\*



\* Les pourcentages accompagnant les figures correspondent aux fréquentations relatives de la strate moyenne et de la face externe de la feuille (i.e. « sous feuille »)

## ANNEXE XV : Fréquentation relative des différents type de fruits lors de la ponte au sein de la parcelle de courgette de Piton Hyacinthe \*



\*Le pourcentage de femelles en ponte sur des fruits de type 1, qui est le plus fréquenté, est donné pour chaque date et chaque espèce



## ANNEXE XVI : Le paquet technique SP5 du projet GAMOUR



# LA BOÎTE À OUTILS DE GAMOUR



**P<sub>2</sub> Plantes de bordure**

Les mouches passent l'essentiel du temps sur la végétation environnante pour se nourrir/accoler, dormir... Certaines plantes comme le maïs sont très attractives pour les mouches. On plante donc une haie en bordure de parcelle pour les attirer. Surdhaïe est régulièrement appliquée de petites taches d'un attractif alimentaire à base de protéines dont les mouches raffolent. En venant l'ingurgiter, elles avalent une très petite quantité d'un bio-pesticide d'origine naturelle, le Spinosad, toudoyant pour elles mais inoffensif pour l'homme et l'environnement.

**P<sub>3</sub> Prédateurs & parasitoïdes**

De nombreux ennemis naturels des mouches des légumineuses, tels que les araignées *Nephila* sp. et les guêpes parasitoïdes *Pyrausta fletcheri* sont présents dans la nature à La Réunion. Ils sont "inoffensifs" pour l'homme et le reste de l'écosystème. La lutte biologique consiste à augmenter l'efficacité de ces ennemis naturels en les élevant puis les relâchant, ou bien en favorisant leur développement (réduction des pesticides, création de zones refuges...)

**P<sub>4</sub> Piégeage de masse**

Les mouches peuvent également être attirées par des pièges appâtés à l'aide d'attractifs alimentaires ou sexuels. Les mâles de deux espèces, par exemple, sont très fortement attirés par le Cue-lure, un composé qui copie les phéromones émises par leurs femelles. À l'aide d'un réseau dense de tels pièges, on élimine ainsi beaucoup de mouches sans nuire à l'environnement.

**P<sub>1</sub> Propylaxie**

Les mouches se multiplient dans les légumineuses placées qui tombent à terre. Ramasser et détruire ces légumineuses, c'est donc détruire une grande partie de ces mouches. On peut améliorer la technique en utilisant un augmentatif. Il s'agit d'une structure simple constituée d'un sac complètement hermétique équipé d'un grillage fin : les légumineuses sont enterrées à l'intérieur et les mouches sont piégées, par contre les insectes utiles qui sont plus petits peuvent s'échapper pour parasiter d'autres mouches dans la parcelle.

**P<sub>5</sub> Pratiques agroécologiques**

Elles consistent à modeler le paysage agricole pour favoriser les autres pratiques : les plantes pièges attirent les mouches, d'autres les repoussent, d'autres offrent des refuges et de la nourriture aux ennemis naturels... Le principe est d'augmenter la diversité végétale dans la parcelle et ses environs pour aider l'agroécosystème à retrouver son équilibre naturel.



## TABLE DES ANNEXES

ANNEXE I : Eléments de morphologie des Tephritidae .....	35
ANNEXE II : Clé pratique de reconnaissance de quelques Tephritidae nuisibles à la Réunion .....	36
ANNEXE III : Durée des différents stades du cycle de vie des mouches des Cucurbitaceae à différentes température.....	37
ANNEXE IV : Localisation des différents sites d'études.....	38
ANNEXE V : Schéma de la parcelle expérimentale de Piton Hyacinthe accompagnée d'une vue aérienne du site.....	39
ANNEXE VI : Schéma de la parcelle expérimentale de citrouille à Tan Rouge et vue aérienne du site.....	40
ANNEXE VII : Schéma de la parcelle de concombre à Tan Rouge.....	41
ANNEXE VIII : Schéma de la parcelle expérimentale du Bois des Nèfles et vue aérienne du site.....	42
ANNEXE IX : illustrations des quelques caractéristiques attenantes aux variables qualitatives.....	43
ANNEXE X : Proportion horaire moyenne d'individus de la population sur la bordure, par date et par sexe.....	44
ANNEXE XI : Effectifs recensés dans les systèmes {concombre + maïs} à Tan Rouge et {citrouille + maïs} au bois des Nèfles.....	45
ANNEXE XII : Evolution journalière des effectifs des populations de <i>B. cucurbitae</i> à Tan Rouge au sein du système {citrouille + bordure mixte}.....	46
ANNEXE XIII : Evolution journalière des effectifs des populations de <i>D. ciliatus</i> à Tan Rouge au sein du système {citrouille + bordure mixte}.....	47
ANNEXE XIV : Fréquentation relatives des différentes strates et des différents organes des plants de maïs lors du repos, à Piton Hyacinthe.....	48
ANNEXE XV : Fréquentation relative des différents type de fruits lors de la ponte au sein de la parcelle de courgette de Piton Hyacinthe.....	49
ANNEXE XVI : Le paquet technique SP5 du projet GAMOUR.....	50

## Résumé

Les mouches des Cucurbitaceae (Diptera : Tephritidae), *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus* et *Dacus demmerezzi* ont une forte incidence économique à l'île de La Réunion. La lutte agro-chimique n'est plus considérée comme une solution durable de part les coûts et les dommages écologiques qu'elle occasionne, c'est pourquoi des organismes se fédèrent pour développer la gestion agro-écologique des populations de ravageurs des cultures. L'incorporation de biodiversité végétale dans les cultures et, entre autres l'utilisation de plantes-pièges en bordure constitue un des modes de gestion actuellement privilégiés. Les plantes-pièges, dont fait partie le maïs, disposées en bordure de culture de Cucurbitaceae accueillent la majorité du peuplement de mouches des Cucurbitaceae durant la journée. En effet, le peuplement de mouches des Cucurbitaceae se concentre chaque matin sur les bordures de maïs mais seules les femelles fréquentent la culture de plante-hôte pour pondre. L'attractivité des bordures de maïs est liée à l'abri qu'elles représentent lors de la journée et dans une moindre mesure à l'alimentation qu'elles fournissent par la production de pollen et de nectar. En termes de gestion, l'incorporation de plantes-pièges en bordure constitue un des éléments du « push-pull assisté » : par des plantes répulsives situées dans la culture et des plantes attractives situées en bordure, on concentre le peuplement de mouches des Cucurbitaceae sur les bordures. Ces dernières constituent alors un site privilégié de surveillance et de gestion des populations. Ces résultats montrent l'importance de la structure des habitats sur les communautés d'insectes et les opportunités qui en découlent en terme de gestion agro-écologique.

Mots-clés : mouches des Cucurbitaceae, La Réunion, plante-hôte, plante-piège, gestion agro-écologique

## Abstract

Cucurbitaceae's flies (Diptera : Tephritidae) *Bactrocera cucurbitae*, *Dacus ciliatus*, and *Dacus demmerezzi* have a big economic impact in Reunion island. Nowadays, the chemical control is not considered as a sustainable solution by her economic cost and the ecological damages that it causes. Consequently, various organisms become allies to develop an agro-ecological control of devastating cultures' populations. Blending of vegetal biodiversity in cultures and in this case, use of trap plants in border of Cucurbitaceae's cultures is one of these agro-ecological methods. Trap plants, as corn, bordering the cultures, greet a big part of the Cucurbitaceae's flies populating. It concentrates him, each morning, on the corn borders but only the females come in the host plants cultures to lay. Attractiveness of corn borders is in relation to the roosting sites which represent during the day and secondly by the food source provided by corn pollen and corn nectar. In term of management, introduction of trap plants as border plants constitutes one of the elements of « the assisted push-pull » : by repulsive plants in the cultures and attractive plants in the border, the flies populating is concentrated in the borders. These borders constitute a privileged site of surveillance and management. These results show the importance of habitats' structure on insects' communities and the opportunity following in the way of agro-ecological management.

Key-words : Cucurbitaceae's flies, Reunion Island, host-plant trap plants, agro-ecological management.